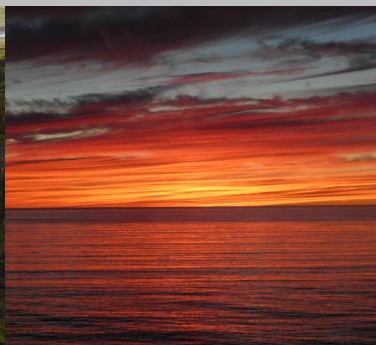


# Jahresbericht 2016





# Vorwort

Sehr geehrte Damen und Herren,  
liebe Leserinnen und Leser,

mit seinem Beschluss zur Überführung des kommunalen Klinikums Augsburg in ein Universitätsklinikum hat das Bayerische Kabinett am 25. Oktober 2016 den Weg für die Gründung einer Medizinischen Fakultät an der Universität Augsburg freigemacht. Voraussetzung dafür war das einstimmig positive Votum des Wissenschaftsrats im Juli 2016, den insbesondere das innovative Forschungs- und Lehrkonzept mit den zwei Forschungsschwerpunkten Environmental Health Sciences (Umwelt und Gesundheit) und Medical Information Sciences überzeugte. An der Entwicklung des wissenschaftlichen Konzeptes für den Schwerpunkt Environmental Health Sciences war das WZU maßgeblich beteiligt. Den Aufbau dieses Forschungsschwerpunktes gestalten wir ebenfalls mit. Das stärkt und erweitert die Umweltforschung an der Universität Augsburg um eine neue Ausrichtung: Die Bedeutung von Umweltfaktoren für Krankheiten aber auch für den Erhalt und die Förderung von Gesundheit werden am künftigen Universitätsklinikum untersucht und in wirksame umwelt- und gesundheitspolitische Maßnahmen und medizinische Therapien überführt werden.

Neben den Environmental Health Sciences haben wir im vergangenen Jahr einen besonderen Akzent auf die Environmental Humanities gelegt. Wir sind überzeugt, dass geistes- und sozialwissenschaftliche Methoden und Theorien für ein umfassendes Verständnis der ökologischen Krise unerlässlich sind. Daher haben wir an der Universität Augsburg die Forschungsplattform Environmental Humanities gegründet und in diesem Kontext

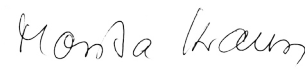
bereits erste drittmittelfinanzierte Forschungsprojekte mitentwickelt. Über unsere Initiativen und Ergebnisse orientiert Sie der vorliegende Jahresbericht.

Darin finden Sie zudem ein ausführliches Interview mit dem Chemie-Nobelpreisträger von 2007, Prof. Dr. Dr. h. c. mult. Gerhard Ertl, der im vergangenen Jahr bei uns in Augsburg zu Gast war. Mit Jens Soentgen hat Gerhard Ertl den 9. Band unserer Stoffgeschichten-Buchreihe herausgegeben, der dem Stickstoff gewidmet ist. Im Interview erläutert er, warum N – so bezeichnen die Chemiker das einzelne Stickstoff-Atom – und die mit diesem N verbundenen technischen Prozesse eine so große politische und ökologische Bedeutung haben. Zum Stickstoff hat das WZU, gemeinsam mit dem Carl Bosch Museum in Heidelberg, eine Ausstellung entwickelt, die seit 2013 auf Wanderschaft ist und im vergangenen Jahr in der Schweiz im Naturmuseum Solothurn gezeigt wurde.

Wir wünschen Ihnen eine anregende Lektüre und freuen uns, wenn Sie das eine oder andere Projekt interessiert oder die eine oder andere Idee anspricht. Gerne geben die ProjektleiterInnen oder auch wir selbst Ihnen weitere Auskunft.



Prof. Dr. Armin Reller



Prof. Dr. Marita Krauss



Prof. Dr. Jucundus Jacobeit



PD Dr. Jens Soentgen

# Inhalt

## UMWELT UND GESUNDHEIT

- 06 Aerosolmessstation
- 14 Luftschadstoffe und Blutbiomarker
- 17 Umweltmonitoring mit unbemannten Luftfahrtsystemen
- 26 Therapeutische Landschaften in der Psychoonkologie
- 30 Streiflicht: Environmental Health Sciences in den USA

## RESSOURCENSTRATEGIE UND STOFFGESCHICHTEN

- 33 Lehrstuhl für Ressourcenstrategie
- 42 Seltene Erden in Elektroaltgeräten
- 46 KosmEthik
- 50 ForCycle – Zukunftssichernde Nutzung von Wertstoffen
- 53 Streiflicht: Der Stickstoff und das Leben

## LOKALE UMWELTEN

- 55 Spuren(gas)suche auf Deutschlands höchstem Berg
- 66 Siedlungsmuster präkolonialer Kulturen im Amazonasgebiet
- 72 Die Uni-Heide und Vegetation des Campus

## ENVIRONMENTAL HUMANITIES

- 78 Environmental Humanities an der Universität Augsburg

## WISSENSVERMITTLUNG UND ANWENDUNG

- 86 Arbeitskreis Nachhaltigkeit
- 90 Disziplinübergreifende Lehrveranstaltungen

## IM GESPRÄCH

- 92 mit Prof. Dr. Dr. h. c. mult. Gerhard Ertl

## DAS WZU

- 97 Profil
- 98 Das Team am WZU
- 99 Die Mitglieder des WZU
- 103 Aktuelle Publikationen



# UMWELT UND GESUNDHEIT

- 06 Aerosolmessstation
- 14 Luftschadstoffe und Blutbiomarker
- 17 Umweltmonitoring mit unbemannten Luftfahrtsystemen
- 26 Therapeutische Landschaften in der Psychoonkologie
- 30 Streiflicht: Environmental Health Sciences in den USA

# Aerosolmessstation

## PROJEKTTEAM

- Dr. Josef Cyrys  
cyrys@helmholtz-muenchen.de  
Tel.: 0821 598 3562 (Büro WZU)  
Tel.: 089 3187 4156 (Büro HMGU)
- Dr. Jianwei Gu  
jianwei.gu@physik.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 3578
- Thomas Kusch  
Thomas.Kusch@hs-augsburg.de  
Tel.: 0821 5586 3259 (Büro)  
Tel.: 0821 5586 3918 (Messstation)
- Klaus Hager  
klaus.hager@geo.uni-augsburg.de
- PD Dr. Jens Soentgen  
soentgen@wzu.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 3560
- Dr. Christoph Beck  
christoph.beck@geo.uni-augsburg.de  
Tel. 0821 598 2129
- Dr. Stefanie Seubert  
stefanie.seubert@wzu.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 3490

## PROJEKTPARTNER

- Bayerisches Landesamt für Umwelt,  
Dr. Ott, Dr. Pitz
- Department of Applied Environmental Science,  
University Stockholm, Dr. Johansson
- Deutscher Wetterdienst, Dr. Thomas, Dr. Flentje
- Helmholtz Zentrum München, Prof. Dr. Peters,

- Dr. Schneider, Dr. Schnelle-Kreis,  
Prof. Dr. Zimmermann
- Hochschule Augsburg, Prof. Dr. Weber
- Institut für Troposphärenforschung,  
Dr. Wiedensohler, Dr. Weinhold
- Karlsruher Institut für Technologie, Prof. Dr. Emeis,  
Dr. Suppan
- Ludwig-Maximilians-Universität München,  
Prof. Dr. Küchenhoff, Dr. Deffner
- Sächsisches Landesamt für Umwelt, Dr. Löschau
- Studienzentrum KORA (Kooperative Gesundheits-  
forschung in der Region Augsburg),  
PD Dr. Meisinger
- Swiss Tropical and Public Health Institute,  
Dr. de Hoogh
- Technische Universität Graz, Dr. Uhrner
- THL National Institute for Health and Welfare,  
Dr. Hänninen, Dr. Lanki
- Umweltbundesamt, Dr. Ries, Dr. Wirtz, Dr. Birmili,  
Dr. Kallweit
- Universität Augsburg, Prof. Dr. Jacobeit
- UNIKA-T, Prof. Dr. med. Traidl-Hoffmann
- Utrecht University, Prof. Dr. Brunekreef, Dr. Hoek
- Stadt Augsburg, Umweltamt, T. Gratz

# Aerosolmessstation

## Umweltaerosol - Charakterisierung der chemischen und physikalischen Eigenschaften von Aerosolen in Augsburg

### Worum geht es?

Die Augsburger Aerosolmessstation bietet eine Plattform für zahlreiche Projekte aus dem Expositionsbereich sowie für epidemiologische Studien. Sie ist in das deutsche Messnetz für ultrafeine Aerosolpartikel (GUAN, German Ultrafine Aerosol Network) eingebunden. Im GUAN sind gegenwärtig 17 Messstationen vertreten, die zur Erforschung der gesundheits- und klimarelevanten Eigenschaften des atmosphärischen Aerosols in Deutschland beitragen. Außerdem ist die Messstation Teil eines bayernweiten Verbunds von Messstationen, die auf verschiedenen Höhenstufen von der Zugspitze (Schneefernerhaus, 2650 m ü. NN) über den Hohenpeißenberg (Meteorologisches Observatorium Hohenpeißenberg des DWDs, 1210 m ü. NN) bis München und Augsburg kontinuierlich und qualitativ hochwertig gesundheitsrelevante Daten wie Luftschadstoffe erfassen. Wie diese Luftschadstoffe im urbanen Raum entstehen, wie sie sich gesundheitlich auswirken und welche Maßnahmen geeignet sind, um sie zu bekämpfen, das wird an der Universität Augsburg seit über 10 Jahren in enger Kooperation mit dem Zentralklinikum Augsburg sowie mit dem Helmholtz Zentrum München (Institut für Epidemiologie II) disziplinübergreifend erforscht. Diese Forschung bringt Ergebnisse hervor, die für die Praxis hoch relevant sind, und die international publiziert werden. Sie spielt auch im Hinblick auf die Neugründung der Universitätsmedizin in Augsburg

mit dem Schwerpunkt „Environmental Health Sciences“ eine wichtige Rolle.

Grundlegend für unseren Ansatz ist die langjährige, erfolgreiche und disziplinübergreifende Kooperation zwischen Naturwissenschaftlern, Epidemiologen, Mathematikern und Umweltsozialwissenschaftlern. Diese Zusammenarbeit findet auch in den seit 2009 regelmäßig stattfindenden Treffen der Projektgruppe „Klima, Aerosole, Gesundheit“ Ausdruck. Die ca. 25 Gruppenmitglieder aus verschiedenen Forschungsinstitutionen im süddeutschen Raum tauschen sich dabei – über Disziplinengrenzen hinweg – zu den aktuellsten Forschungsergebnissen sowie Anwendungen innovativer Ansätze und Methoden aus. Die dadurch entstandenen Kooperationen, insbesondere mit dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT), der Ludwig-Maximilians-Universität München (LMU), der Technischen Universität München (TU) und dem Landesamt für Umwelt Bayern (LfU), sind für eine erfolgreiche Arbeit unerlässlich.

Schwerpunkt unseres Interesses ist die Aerosolforschung. Aerosolpartikel kommen in der Luft in unterschiedlichster Konzentration, Zusammensetzung, Größe und Form vor und sind hochkomplexe und dynamische Gemische, die insbesondere im städtischen Bereich anthropogenen Ursprungs sind und aus den Abgasen von Autos, Häusern und Betrieben entweichen. Insbesondere Verbrennungsprozesse liefern große Mengen sehr feiner und gesundheitlich besonders problematischer Partikel. Jeder Mensch inhaliert enorme Mengen dieser Partikel und es stellt sich die Frage: Welche Eigenschaften und/oder Komponenten des Umweltaerosols sind für die in epidemiologischen Studien nachgewiesenen gesundheitlichen

# Aerosolmessstation

Folgen verantwortlich? Eine Klärung dieser Frage kann nur durch eine detaillierte physikalische und chemische Charakterisierung der Umweltpartikel erfolgen. Der Einsatz einer zentralen Messstation zur Abschätzung der Exposition großer Bevölkerungsgruppen ist aber nur dann gerechtfertigt, wenn die Luftschadstoffe homogen über das Studiengebiet verteilt sind, in dem die zu untersuchenden Personen leben. Deshalb wurden in speziellen Intensivmesskampagnen an verschiedenen Standorten im Stadtgebiet von Augsburg die räumlichen Variationen der Belastung durch Luftschadstoffe abgebildet. Die Messungen werden durch Landnutzungs-, Dispersionsmodelle und Fernerkundungsdaten ergänzt, um so eine präzise Expositionsabschätzung der Bevölkerung zu erhalten.

## Zielsetzung & Methoden

Die Aerosolmessstation steht seit 2004 im Mittelpunkt der Environmental Health-Aktivitäten am Wissenschaftszentrum Umwelt und am Institut für Geographie der Universität Augsburg. Sie ist ein wichtiger Netzwerkknoten für die Kooperation vieler Umweltforscher im süddeutschen Raum. Sie wird von der Universität Augsburg und dem Helmholtz Zentrum München in Kooperation mit der Hochschule Augsburg betrieben. Einbezogen in die Forschung ist auch das Karlsruher Institut für Technologie (KIT, Campus Alpin). Die Messstation liefert kontinuierlich hochaufgelöste und hochwertige Daten zur physikalischen und chemischen Charakterisierung von feinen und ultrafeinen Partikeln, die die mittlere Belastung der Stadt widerspiegeln und somit für einen Großteil der Augsburger Bevölkerung repräsentativ sind. Zudem werden meteorologische Größen erfasst, die die

Feinstaubbelastung beeinflussen können. Folgende Aspekte stehen im Mittelpunkt der Forschungsaktivitäten:

- Identifizierung der wichtigsten lokalen und überregionalen Feinstaubquellen
- Dokumentation zeitlicher Trends der Feinstaubbelastung
- Untersuchung der Auswirkungen von Maßnahmen zur Feinstaubreduzierung (z.B. Umweltzone)
- Modellierung von Luftschadstoffen, um die Exposition der Bevölkerung besser zu erfassen
- Bereitstellung von Daten für epidemiologische Studien, die die Gesundheitsrelevanz von Luftschadstoffen untersuchen
- Bereitstellung von Daten für Studien, die den Zusammenhang von Umweltwandel (z.B. Klimawandel) und Gesundheit erforschen
- Beitrag zur Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses (Master- und Doktorarbeiten; umweltwissenschaftliche Seminare)

## Durchführung und Ergebnisse

Das Projektteam war im Berichtszeitraum an folgenden Projekten beteiligt:

- EU-Projekt: „Assessment of changing conditions, environmental policies, time-activities, exposure and disease“ (**ACCEPTED**)
- HMGU Projekt: „Exposure, Modeling and Epidemiology of Nanoparticles and their Composition within KORA“ (**ULTRA III**)



## Aerosolmessstation

- DFG-Projekt: „Klimawandel und Feinstaub in Bayern“ (PACLIBA – Particulate Matter and Climate Change in Bavaria)

Den Schwerpunkt der Arbeiten bildeten die Projekte ACCEPTED, ULTRA III sowie die Aufarbeitung und Validierung des gesamten Datensatzes.

## ULTRA III

Diese Studie ist eine epidemiologische Langzeiteffektstudie, in der die Inzidenzraten von Krankheiten oder die Häufigkeit von Frühformen und Symptomen in der KORA Kohorte mit den Werten einer individuellen Langzeitexpositionsabschätzung in Beziehung gesetzt

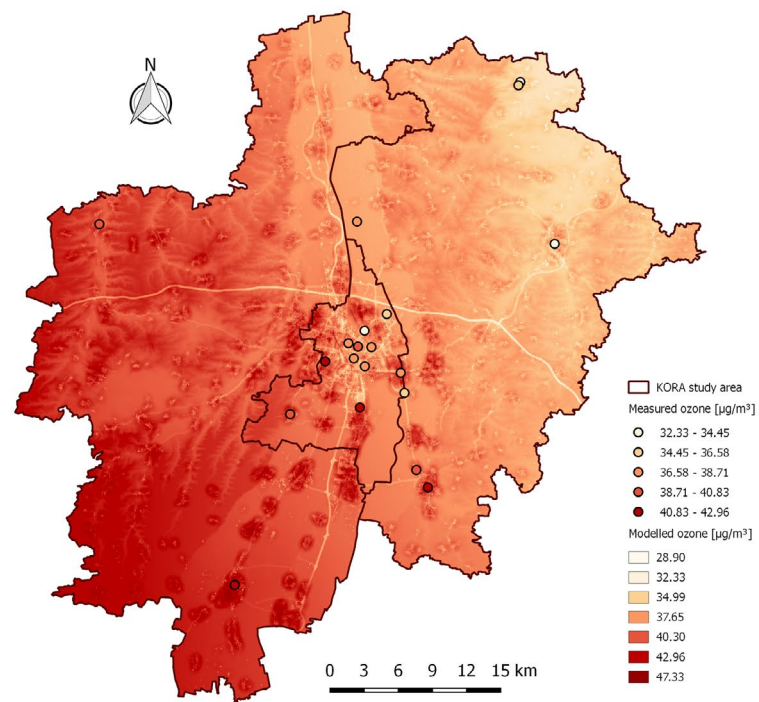
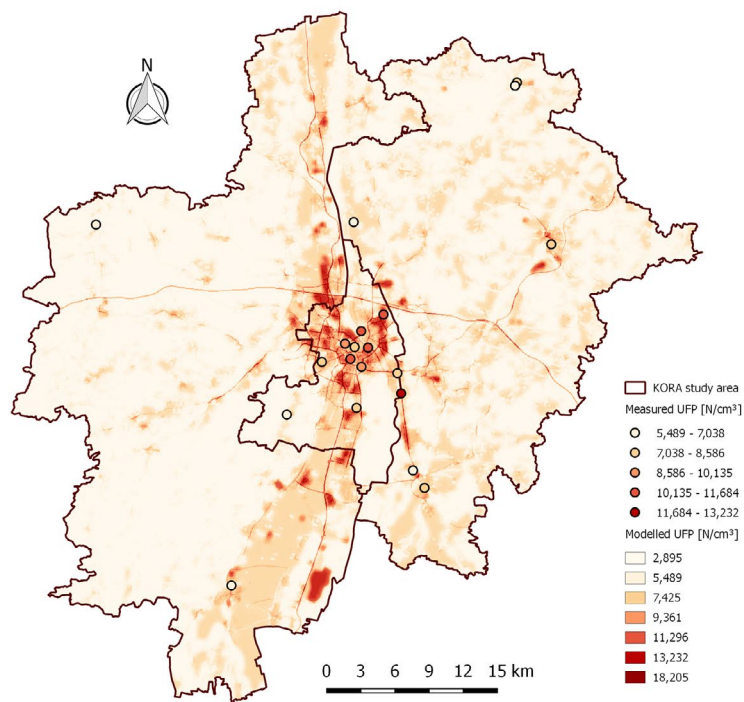


Abb. 1: Gemessene (Kreise) und modellierte Jahresmittelwerte für UFP (linke Abbildung) und Ozon (rechte Abbildung) in der Region Augsburg

## Aerosolmessstation

werden. Das erfordert die Schätzung der Langzeitbelastung an aktuellen und früheren Wohnorten bzw. häufigen Aufenthaltsorten der Studienteilnehmer. Da Expositionsmessungen mit der erforderlichen räumlichen Auflösung in der Regel nicht existieren, wird die Langzeitexposition in dieser Studie aus einer Kombination von Messung und Modellierung geschätzt.

Im Berichtszeitraum wurden die Jahresmittelwerte von ultrafeinen Partikel (UFP), PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, Black Smoke, Stickoxiden (NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub>) sowie Ozon für die 20 Standorte in Augsburg und die zwei Landkreise Augsburg Land und Aichach-Friedberg ermittelt. Diese Daten wurden anschließend für die Modellierung der räumlichen Verteilung dieser Luftschadstoffe verwendet. Die Modellierung erfolgte mit Hilfe von Land-Nutzungsmodellen (LUR, land use regression).

Die Modelle erklären ca. 90% der räumlichen Variabilität der UFP-Jahresmittelwerte, 80% der Variabilität von PM<sub>2.5</sub> und 87% der Variabilität von PM<sub>10</sub>. Die modellierte räumliche Variabilität der UFP- und Ozon-Jahresmittelwerte für die Stadt und Region Augsburg ist in Abbildung 1 dargestellt. Die Übereinstimmung zwischen ermittelten und modellierten UFP-Jahresmittelwerten wird aus Abbildung 2 ersichtlich. Die Modelle ermöglichen die Berechnung der wohngenauen Konzentrationen der untersuchten Luftschadstoffe für alle Teilnehmer der Studie.

### ACCEPTED

Im Rahmen des Projekts wurden Methoden entwickelt, die eine Abschätzung der Maßnahmen zur Verbesserung der Luftqualität hinsichtlich ihrer Effektivität erlauben.

Die Abschätzung erfolgte sowohl durch statistische Auswertung der vorhandenen Messreihen als auch durch Modellrechnungen. Die Analyse der Wirksamkeit der Umweltzone in den drei deutschen Städten Augsburg, München und Berlin stellte einen Schwerpunkt der an der Universität Augsburg durchgeführten Arbeiten dar. Die im Rahmen dieses Projekts durchgeführte Analyse belegte eine signifikante Abnahme der Feinstaubkonzentrationen in München nach der Verschärfung der Regelungen für die Umweltzone von Stufe 1 auf Stufe 2. Auch in Berlin fallen die Minderungseffekte nach der Verschärfung der Regularien (Stufe 3) deutlicher aus als nach der Einführung der ersten Stufe. In Augsburg, wo die Umweltzone deutlich kleiner ist, waren die Ergebnisse der Wirkungsanalyse nicht konsistent. Für die Stadt Augsburg wurde zusätzlich zur Analyse der vorhandenen PM<sub>10</sub>-Immissionsdaten die Wirkung der Umweltzone auf die PM<sub>10</sub>- und NO<sub>x</sub>-Konzentrationen durch Modellierung abgeschätzt. Die Ergebnisse der Modellierung deuten darauf hin, dass der erwartete Rückgang der PM<sub>10</sub>-Konzentration an allen städtischen Hintergrundmessstationen exakt in der gleichen Größenordnung liegt wie der erwartete Rückgang der PM<sub>10</sub>-Konzentration an der Referenzmessstation im regionalen Hintergrund. Dies erklärt, warum der Effekt der Umweltzone im städtischen Hintergrund in Augsburg durch Anwendung der statistischen Modellierung nicht nachgewiesen werden konnte. Zusammenfassend lässt sich Folgendes schlussfolgern: die statistische Modellierung konnte einen Effekt der Umweltzone im städtischen Hintergrund in Augsburg nicht nachweisen, während die Dispersionsmodellierung eine mögliche Erklärung dafür erkennen lässt.

## Aerosolmessstation

Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass sich die Umweltzonen als erfolgreiche Maßnahme für die Luftreinhaltung erweisen, wenn sie groß genug sind und möglichst wenige Ausnahmen zulassen (wie in Berlin und München). Sie senken nicht nur die Feinstaub-Konzentration, sondern in einem viel größeren Ausmaß die gesundheitlich

relevanten Komponenten (wie zum Beispiel Dieselruß), die im PM10-Feinstaub enthalten sind. Folglich kann der Nutzen der Umweltzonen viel besser abgeschätzt werden, wenn neben PM10 weitere Messparameter, wie Ruß (BC) und elementarer Kohlenstoff (EC), gemessen werden.

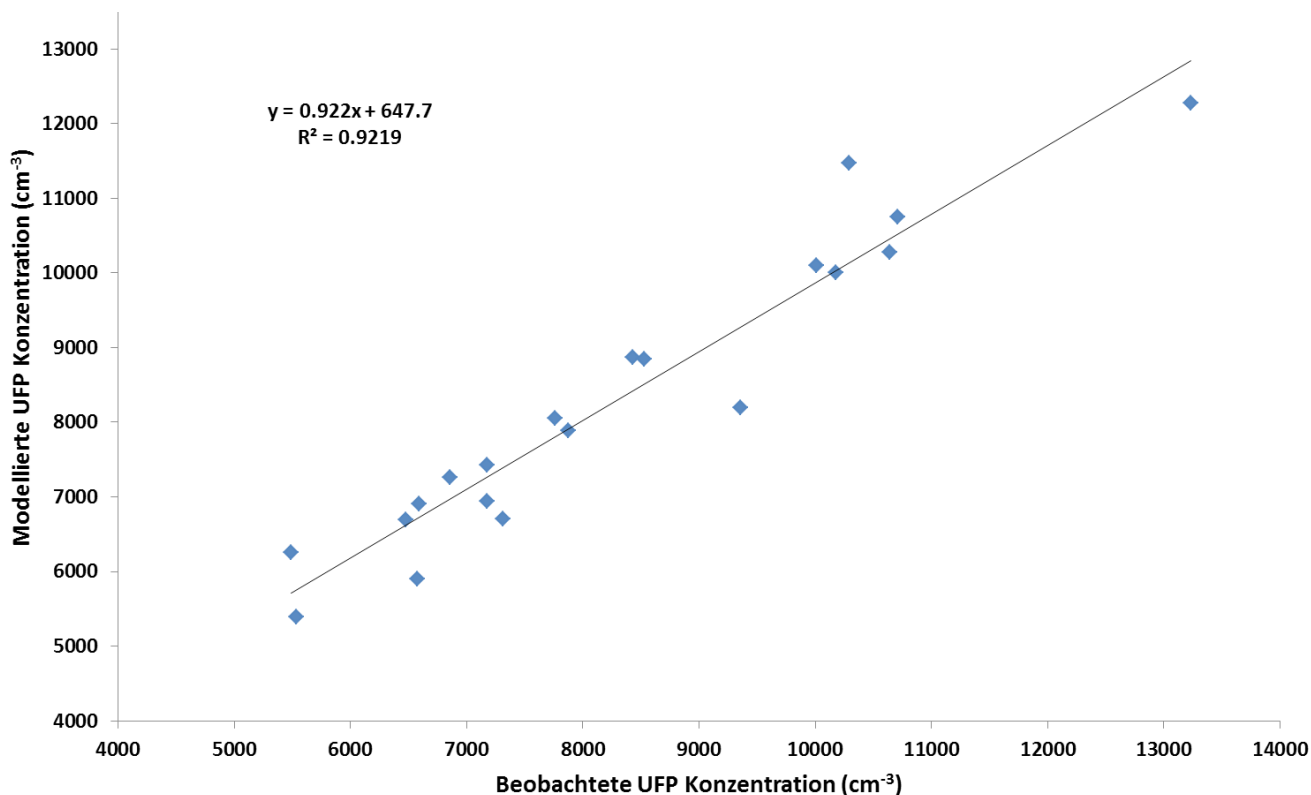


Abb. 2: Gemessene und modellierte UFP-Jahresmittelwerte (cm<sup>-3</sup>) an den ULTRA III-Messstationen (n=20)

# Aerosolmessstation

## Ausblick

Zum Ultrafeinstaub läuft in Kürze am WZU ein Kooperationsprojekt mit dem Landesamt für Umwelt und dem Helmholtz Zentrum München an. In der insgesamt dreijährigen Projektlaufzeit soll erforscht werden, wie sich lokale Quellen auf die räumliche und zeitliche Verteilung ultrafeiner Partikel im Augsburger Stadtgebiet auswirken. Im Rahmen einer einjährigen Messkampagne in 2017 wird an sechs verschiedenen Standorten in Augsburg, die repräsentativ für die verschiedenen urbanen, anthropogenen Quellen sind, Ultrafeinstaub gemessen und anschließend ausgewertet. Das ist deshalb von besonderer Bedeutung, weil in Bayern die UFP-Belastungssituation an charakteristischen städtischen Standorten, wie z.B. an Hauptverkehrsstraßen oder in Industriegebieten, bislang unbekannt ist. Die erwarteten Ergebnisse werden deshalb wichtige neue Kenngrößen für die gesundheitsgefährdenden ultrafeinen Luftpartikel liefern. Außerdem können auf Basis der abgeleiteten, qualitätskontrollierten, räumlich und zeitlich hochaufgelösten UFP-Messreihen epidemiologische Studien durchgeführt werden, die weiteren Aufschluss über Gesundheitseffekte erwarten lassen. Das stärkt die Forschung auf dem Gebiet der Environmental Health Sciences, die sich an der Universität Augsburg im Kontext der medizinischen Fakultät etablieren wird.

## Publikationen

### Expositionsabschätzung:

- Birmili, W., ... Cyrys, J., Pitz, M., Gu, J., Peters, A., ... Weber, S. (2015): Atmospheric aerosol measurements in the German Ultrafine Aerosol Network (GUAN) - Part III: Black Carbon mass and particle number concentra-

tions 2009-2014, *Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft* 11/12, S. 479-488.

- Birmili, W., ..., Cyrys, J., Pitz, M., Gu, J., Kusch, T., ..., Fiebig, M. (2016): Long-term observations of tropospheric particle number size distributions and equivalent black carbon mass concentrations in the German Ultrafine Aerosol Network (GUAN), *Earth Syst. Sci. Data* 8, S. 355-382.
- Fensterer, V., Küchenhoff, H., Maier, V., Pitz, M., Cyrys, J., Breitner, S., Schneider, A., Geruschkat, U., Peters, A. (2016): Personal exposure to ultrafine particles: Two-level statistical 1 modeling of background exposure and 2 time-activity patterns during three seasons, *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology* 26, S. 17-25.
- Tsai, M.Y., ..., Cyrys, J., ..., Brunekreef, B. (2015): Spatial variation of PM elemental composition between and within 20 European study areas - Results of the ESCAPE project, *Environmental International* 84, S. 181-192.
- Morelli, X., Rieux, C., Cyrys, J., Forsberg, B., Rémy, S. (2016): Air pollution, health and social deprivation: a fine-scale risk assessment of mortality, lung cancer incidence and low birth weight, *Environmental Research* 147, S. 59-70.
- Li, F., Schnelle-Kreis, J., Karg, E., Cyrys, J., Gu, J., Orasche, J., Abbaszade, G., Peters, A., Zimmermann, R. (2016): Semi-continuous sampling of health relevant atmospheric particle subfractions for chemical speciation using a rotating drum impactor in series with sequential filter sampler, *Environ. Sci. Pollut. Res* 23, S. 7278-7287.

## Aerosolmessstation

### Luftschadstoffe und Gesundheit:

- Lanzinger, S., Schneider, A., Breitner, S., Stafoggia, M., Erzen, I., Dostal, M., Pastorkova, A., Bastian, S., Cyrys, J., Zscheppang, A., Kolodnitska, T., Peters, A. for the UFIREG study group (2016): Associations between Ultrafine and Fine particles and Mortality in five Central European Cities – Results from the UFIREG study, *Environmental International* 88, S. 44-52.
- Lanzinger, S., Schneider, A., Breitner, S., Stafoggia, M., Erzen, L., Dostal, M., Pastorkova, A., Bastian, S., Cyrys, J., Zscheppang, A., Kolodnitska, A., Peters, A. for the UFIREG study group (2016): Ultrafine and Fine particles and hospital admissions in Central Europe, Results from the UFIREG study, *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 194 (10), S. 1233-1241.
- Panni, T., Mehta, A., Schwartz, J., Baccarelli, A., Just, A., Wolf, K., Wahl, S., Cyrys, J., Sonja, K., Strauch, K., Waldenberger, M., Peters, A. (2016): A Genome-Wide Analysis of DNA Methylation and Fine Particulate Matter Air Pollution in Three Study Populations: KORA F3, KORA F4, and the Normative Aging Study, *Environmental Health Perspectives* 124 (7), S. 983-990.
- Rückerl, R., Schneider, A., Hampel, R., Breitner, S., Cyrys, J., Kraus, U., Gu, J., Soentgen, J., Koenig, W., Peters, A. (2016): Association of novel metrics of particulate matter with vascular markers of inflammation and coagulation in susceptible populations – results from a panel study, *Environmental Research* 150, S. 337-347.
- Samoli, E., ..., Cyrys, J., ..., Stafoggia, M. on behalf of the UF&HEALTH Study group (2016): Exposure to ultrafine particles and respiratory hospitalizations in five European cities, *European Respiratory Journal* 48, S. 674-682.
- Stafoggia, M., Schneider, A., Cyrys, J., ..., Peters, A., Quass, K., Yli-Tuomi T., and Forastiere F., on behalf of the UF&HEALTH Study Group : Association between short-term exposure to ultrafine particles and mortality in eight European urban areas, *Environmental Health Perspectives*, accepted.
- Wolf, K., Schneider, A., Breitner, S., Meisinger, C., Heier, M., Cyrys, J., Kuch, B., von Scheidt, W., Peters, A. for the KORA Study Group (2015): Associations between short-term exposure to particulate matter and ultrafine particles and myocardial infarction in Augsburg, Germany, *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 218 (6), S. 535-542.

# Luftschadstoffe und Blutbiomaker

## PROJEKTTEAM

- Dr. Josef Cyrys  
cyrys@helmholtz-muenchen.de  
Tel.: 089 3187 4156
- Dr. Regina Pickford (geb. Rückerl)  
regina.pickford@wzu.uni-augsburg.de  
Tel.: 089 3187 3660
- Prof. Dr. Armin Reller  
armin.reller@wzu.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 3000
- PD Dr. Jens Soentgen  
soentgen@wzu.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 3560

## PROJEKTPARTNER

- Helmholtz Zentrum München,  
Institut für Epidemiologie II
- Universitätsklinikum Ulm
- US Environmental Protection Agency,  
Environmental Public Health Division

## FÖRDERUNG

- Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)  
unter dem Geschäftszeichen RU 1453/1

## LAUFZEIT

- Juni 2013 bis Mai 2017

## Zusammenhang zwischen Luftschadstoffen und Blutbiomakern in einer historischen Kohorte in Augsburg und Umgebung

### Worum geht es?

Epidemiologische Studien haben einen Zusammenhang zwischen Außenluftschadstoffen und kardiovaskulärer Morbidität und Mortalität gezeigt. Eine vor allem durch Partikel in der Außenluft hervorgerufene Entzündungsreaktion, die sich von der Lunge in den gesamten Körper ausbreitet, scheint dabei eine Rolle zu spielen. Diese Entzündungsreaktion lässt sich mit einer Reihe von Biomarkern im Blut nachweisen.

Peters und Kollegen waren unter den Ersten, die einen Zusammenhang zwischen Luftschadstoffen und Blutbiomarkern zeigen konnten (Peters et al., 1997 und Peters et al., 2001). Eine europaweite Schadstoffperiode führte im Januar 1985 auch in Deutschland für 13 Tage zu extrem hohen Schwefeldioxid- ( $\text{SO}_2$ ) und Gesamtschwebstaubwerten („total suspended particles“, TSP). Diese Schadstoffperiode fiel zufällig mit dem ersten WHO MONICA (MONItoring trends and determinants in CARDiovascular disease) Projekt, einer großen populationsbasierten Studie in der Stadt Augsburg sowie in den Landkreisen Aichach und Aichach-Friedberg, zusammen. Peters et al. (1997) verglichen die Höhe der Plasmaviskosität, also der Zähigkeit des Blutes, die vor allem von der Konzentration der Plasmaproteine wie Fibrinogen abhängt, bei 1663 Männern und 1593 Frauen vor, während und nach dieser Episode. Sie stellten fest, dass die Plasmaviskosität

# Luftschadstoffe und Blutbiomaker

während der Schadstoffepisode höher war, dabei wurde in den Analysen sowohl für bekannte Risikofaktoren für Herz-Kreislauferkrankungen sowie für meteorologische Variablen adjustiert.

In den Jahren 1987/88 wurden 3753 Teilnehmerinnen und Teilnehmer des ersten MONICA Augsburg Surveys nochmals unter Anwendung derselben Methoden untersucht. In dieser Folgeuntersuchung wurde zudem die Konzentration von C-reaktivem Protein (CRP, einem klassischen Entzündungsmarker im Blut) in einer Untergruppe von 631 Männern gemessen. CRP-Proben, die während der Luftschadstoffepisode gesammelt worden waren, wurden mit CRP-Proben verglichen, die aus den Untersuchungen vor und nach der Luftschadstoffepisode stammten, sowie mit denen der Nachuntersuchung. Während der Schadstoffepisode zeigte ein größerer Anteil an Männern erhöhte CRP-Werte verglichen mit den Messungen außerhalb der Episode (Peters et al., 2001). Bisher beschränken sich die Analysen auf Plasmaviskosität und CRP, obwohl inzwischen zusätzlich eine Vielzahl von Blutbiomarkern in diesen Blutproben gemessen wurde.

## Zielsetzung und Methoden

In diesem Projekt wird die Rolle, die Außenluftpartikel hinsichtlich Entzündungs- und Gerinnungsprozessen sowie der oxidativen Aktivität im Blut spielen, in einer historischen Kohorte vor, während und nach einer schwerwiegenden Schadstoffperiode im Jahr 1985 untersucht. Zusätzlich zu Plasmaviskosität und CRP soll eine Vielzahl an Blutbiomarkern betrachtet werden. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die in diesem Projekt untersuchten Zytokine, Chemokine, Adipokine, Adhäsions-Moleküle

sowie Marker für oxidativen Stress. Zytokine sind Signalproteine, die eine Kommunikation zwischen den Zellen ermöglichen. Chemokine, eine Untergruppe der Zytokine, lösen bei Zellen eine Wanderungsbewegung aus. Bei Adipokinen handelt es sich um Fettgewebshormone, die beispielsweise das Hungergefühl und die Nahrungsaufnahme regulieren. Sie stehen auch im Zusammenhang mit Insulin, dem Hormon der Bauchspeicheldrüse, das eine maßgebliche Rolle bei der Entwicklung von Diabetes mellitus hat. Adhäsionsmoleküle sind eine Klasse von Proteinen, die Kontakt zwischen zwei benachbarten Zellen im Gewebe bzw. zwischen Zellen und der extrazellulären Matrix herstellen. Von oxidativem Stress spricht man, wenn im Körper ein Ungleichgewicht zwischen Bildung und Abbau reaktiver Sauerstoffverbindungen besteht.

<b>Zytokine</b>	TGF- $\beta$ 1, IL*-6, IL*-18
<b>Chemokine</b>	RANTES / CCL5, IL*-8, Interferon- $\gamma$ -inducible protein C (IP-10), Monocyte chemoattractant protein-1 (MCP-1, CCL2)
<b>Adipokine</b>	Leptin und Adiponectin
<b>Adhäsionsmoleküle</b>	Soluble intercellular adhesion molecule 1(sICAM-1), Soluble E-Selectin
<b>Marker für oxidativen Stress</b>	Myeloperoxidase (MPO), Oxidised low density lipoprotein (oxLDL)

IL\*: Interleukin

Tab. 1: Untersuchte Blutbiomarker



# Luftschadstoffe und Blutbiomaker

## Durchführung und Ergebnisse

Die Daten wurden mittels multipler linearer Regressionsmodelle analysiert. Zum einen mit einer Indikatorvariable für die Luftschadstoffepisode (d.h. Luftschadstoffperiode: ja vs. nein), zum anderen mit kontinuierlichen  $\text{SO}_2$ -, Kohlenstoffmonoxid- (CO) und Gesamtschwebstaub- Konzentrationen. Zusätzlich wurden die Blutmarker an der 80., 90. und 95. Perzentile getrennt und eine multivariable logistische Regression wurde durchgeführt. Alle Modelle wurden für bekannte Risikofaktoren wie Alter, Body-Mass-Index, Blutdruck sowie aktives und passives Rauchen adjustiert. Darüber hinaus wurden meteorologische Variablen wie Außentemperatur und relative Feuchte sowie Wochentag und Trend als mögliche Confoundervariablen in Betracht gezogen. Weder die lineare noch die logistische Regression zeigten überzeugende, übereinstimmende Ergebnisse.

Aus diesem Grund soll zusätzlich eine Quantilsregression durchgeführt werden, da vorstellbar ist, dass nicht alle Personen gleich stark auf Luftschadstoffe reagieren, sondern beispielsweise diejenigen stärker reagieren, die von Haus aus einen höheren (oder niedrigeren) Blutwert haben. Bei der Quantilsregression wird nicht der Erwartungswert, sondern bestimmte Quantile einer Zielgröße  $Y$  werden in Abhängigkeit von Einflussgrößen modelliert. Diese Methode bietet sich an, wenn beispielsweise viele Ausreißer die Daten beeinflussen.

Nach Abschluss aller Analysen werden alle Ergebnisse nochmals vergleichend betrachtet, um zu sehen, ob sich ein stimmiges Bild für einige der Blutbiomarker ergibt. Diese sollen dann in noch vorhandenen gefrorenen Blutproben aus der Nachuntersuchung aus den Jahren 1987/88 analysiert werden.

## Literatur

- Peters, A., Döring, A., Wichmann, H. E., Koenig, W. (1997): Increased plasma viscosity during an air pollution episode: a link to mortality?, *The Lancet* 349 (9065), S.1582-1587.
- Peters, A., Frohlich, M., Döring, A., Immervoll, T., Wichmann, H. E., Hutchinson, W. L., Pepys, M. B., Koenig, W. (2001): Particulate air pollution is associated with an acute phase response in men; results from the MONICA-Augsburg Study, *Eur. Heart. J.* 22 (14), S.1198-1204.
- Rückerl, R., Schneider, A., Hampel, R., Breitner, S., Cyrys, J., Kraus, U., Gu, J., Soentgen, J., Koenig, W., Peters, A. (2016): Association of novel metrics of particulate matter with vascular markers of inflammation and coagulation in susceptible populations -results from a panel study, *Environmental Research* 150, S. 337-347.



# Umweltmonitoring mit unbemannten Luftfahrtsystemen

## PROJEKTTEAM

- PD Dr. Andreas Philipp  
andreas.philipp@geo.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 2266
- M. Sc. Erik Petersen  
erik.petersen@geo.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 2765
- M. Sc. Alexander Groos  
alexander.groos@giub.unibe.ch
- B. Sc. Pia Ferenci  
pia.steckenreuter@student.uni-augsburg.de
- B. Sc. Stefan Engerer  
stefan@engerer.net
- B. Sc. Benedikt Fiedler  
benedikt.emilian.fiedler@student.uni-augsburg.de
- Prof. Dr. Jucundus Jacobeit  
jucundus.jacobeit@geo.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 2670

## PROJEKTPARTNER

- Institut für Meteorologie und Klimaforschung – Institut für Atmosphärische Umweltforschung / Karlsruher Institut für Technologie, IMK-IFU/KIT
- Institut für Informatik, Universität Augsburg, Prof. Dr. Jörg Hähner
- Institute for Software and Systems Engineering, ISSE, Universität Augsburg
- Universitäres Zentrum für Gesundheitswissenschaften am Klinikum Augsburg, UNIKA-T
- Bayerisches Landesamt für Umwelt, LfU
- Betriebsgesellschaft der Umweltforschungsstation

## Schneefernerhaus, UFS

- Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., DLR, Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum, DFD, Abteilung Atmosphäre
- Technische Universität Berlin, TUB, Prof. Dr. Dieter Scherer
- Max-Planck-Institut Jena, MPI, M. Sc. Martin Kunz

## Worum geht es?

Das Wissen über gesundheitsrelevante Umweltparameter der Luftqualität, wie z.B. Schadgaskonzentration, Feinstaub- oder Pollenverteilung, hängt maßgeblich von zuverlässigen Messungen ab. Ein in der geowissenschaftlichen Auswertung von Messdaten bekanntes Problem ist jedoch die Repräsentativität von Messungen im Raum, d.h. ob ein gemessener Wert auch für die mehr oder weniger nähere Umgebung noch Gültigkeit besitzt. Große Unterschiede zwischen Konzentrationen von Luftbeimengungen treten hierbei insbesondere in vertikaler Richtung auf. So können z.B. Feinstaubkonzentrationen in Bodennähe von denen in höheren Luftschichten deutlich abweichen, etwa wenn sich Luft am Boden nachts abkühlt und sich mit der darüberliegenden, wärmeren und somit spezifisch leichteren Luft nicht mehr durchmischt (sog. stabile Schichtung). Aber auch in horizontaler Richtung sind erhebliche Unterschiede zu beobachten, beispielsweise aufgrund unterschiedlicher Eigenschaften von Oberflächen wie Rauigkeit oder Wärmekapazität oder aufgrund der Lage von Quellen und Senken. Um derartige räumliche Verteilungsmuster der Luftqualität, aber auch der hierfür relevanten meteorologischen Parameter, zu untersuchen, werden unbemannte

# Umweltmonitoring mit unbemannten Luftfahrtsystemen

logischen Parameter wie Lufttemperatur, Feuchte und Wind auf der Mikroskala, d.h. mit Veränderungen auf Distanzen unter ca. 2 km, erfassen zu können, reichen fest installierte Instrumente oft nicht aus, da sie aufgrund der Kosten und des Installations- und Betreuungsaufwandes nicht beliebig dicht platziert werden können.

Als Alternative hat sich insbesondere in der Geographie die sog. mobile Messung etabliert, bei der relativ kleine und leichte Sensoren während der Messung durch den Raum bewegt werden und somit räumliche Variabilität direkt erfasst werden kann (siehe z.B. Seidel et al. 2016 für einen aktuellen Überblick). Eine Sonderform der mobilen Messung, die zudem in der Lage ist, die vertikale Dimension zu erkunden, hat sich erst in jüngerer Zeit mit der Verfügbarkeit erschwinglicher Mikroprozessoren und miniaturisierter Sensoren etabliert, die Sondierung mithilfe unbemannter Luftfahrtsysteme (auch als Drohnen bezeichnet). Seit ca. drei Jahren wird auch am Institut für Geographie der Universität Augsburg eine Flotte unbemannter Luftfahrtsysteme (engl. UAS für unmanned aerial systems, auch UAV für unmanned aerial vehicles) entwickelt und betrieben. Während für Film- und Fotoaufnahmen i.d.R. sog. Drehflügler oder Multikopter verwendet werden, kommen am Institut für Geographie Flächenflugmodelle (sog. Starrflügler) zu verschiedenen Messzwecken zum Einsatz, deren Bandbreite zur Verdeutlichung des Potentials dieser neuen Technik im vorliegenden Beitrag dargestellt werden soll.

## Technische Grundlagen

In Hinblick auf Robustheit und Flugeigenschaften (auch bei ungünstigen Windverhältnissen) haben sich Nurflüg-

ler aus EPP-Schaumstoff (expanded Polypropylen) mit Spannweiten zwischen 1,40 m und 2,10 m bewährt, die als Eigenbau aus vorgefertigten Einzelteilen am Institut montiert und mit Elektroantrieb ausgestattet werden. Zur manuellen Steuerung wird eine handelsübliche Funkfernsteueranlage installiert, der Kern des Steuersystems ist jedoch das am ENAC (École Nationale de l'Aviation Civile, Toulouse) speziell entwickelte Mikroprozessorboard Apogee, das mithilfe verschiedener Flugsensoren sowohl als Autopilot fungiert, aber auch die Ansteuerung meteorologischer Sensoren und die Aufzeichnung und Übertragung der Daten in Echtzeit übernehmen kann. Die Programmierung des Autopilotcontrollers erfolgt über eine hochentwickelte Open-Source Softwareumgebung (PPRZ) und erlaubt sowohl die Vorabfestlegung eines genauen Flugplanes als auch dessen Änderung während des Fluges. Zur Orientierung verfügt das System über einen Navigationssatellitenempfänger (GNSS, engl.: global navigation satellite system), ein Barometer zur Höhenkontrolle und ein Inertialmessmodul (IMU, engl.: inertial measurement unit), das die Fluglage, Beschleunigung und Rotation erfasst. In Kontrollschleifen der Betriebssoftware wird mit deren Hilfe sowohl die Fluglage selbsttätig stabilisiert als auch ein gewünschtes Ziel angeflogen.

Die mitgeführten Lithium-Polymer-Akkus mit 5800 mAh erlauben bei einem Abfluggewicht von ca. 1,4 bis 2,5 kg eine Flugzeit von ca. 45 Minuten, je nach Geschwindigkeit (zwischen 10 und 30 m/s) und Aufstieghöhe, die von Freigaben der Deutschen Flugsicherung abhängt und mit Sondergenehmigungen bisher maximal 1000 Meter über Grund betragen hat. Als maximale Zuladung wurden bislang 1,2 kg auf einem Nurflügler mit 2,10 m Spannweite transportiert.

# Umweltmonitoring mit unbemannten Luftfahrtsystemen

## Rechtliche Rahmenbedingungen

Als sog. unbemannte Luftfahrtsysteme oder UAS gelten unbemannte Fluggeräte, die zu professionellen Zwecken betrieben werden. Davon unterscheiden sich *Flugmodelle* allein durch den Betrieb aus Gründen des Sports und der Freizeitgestaltung. UAS sind immer genehmigungspflichtig und unterliegen, zusammen mit den *Flugmodellen*, dem Luftverkehrsrecht, womit sich auch für den wissenschaftlichen Einsatz einige wichtige Regelungen ergeben: So darf niemals außerhalb des Sichtbereichs der steuernden Person geflogen werden, zum Start und zur Landung (nicht zum Überflug) muss der Grundstückseigentümer um Erlaubnis gefragt werden. Menschenansammlungen und kritische Anlagen dürfen nicht überflogen werden und die rechtlichen Regelungen zum Schutz der Privatsphäre sind uneingeschränkt einzuhalten. Bemannten Luftfahrzeugen ist immer auszuweichen. Zudem ist vor einem Aufstieg stets die Luftfahrtkarte und das Sichtflugbulletin der Deutschen Flugsicherung zu konsultieren, um sicherzustellen, dass nicht in kontrollierten Luftraum eingeflogen wird. Die Missachtung des letztgenannten Punktes ist es, die in jüngerer Zeit mehrmals zu Beinahe-Kollisionen im Bereich u.a. des Münchner Flughafens geführt hat.

## Sensorik für das Umweltmonitoring

Die meteorologische Standardinstrumentierung der UAS besteht aus kapazitiven Temperatur- und Luftfeuchtesensoren, Widerstandsthermometern und Prandtl-Staudruckrohren, die die Geschwindigkeit des UAS relativ zur umgebenden Luft (Airspeed) messen, während mit dem GNSS die Geschwindigkeit relativ zum Boden



Abb. 1: Standardmodell der unbemannten Luftfahrtsysteme des Instituts für Geographie. In den grauen Strahlungsschutzrohren befinden sich der Temperatur- und Feuchtesensor.

# Umweltmonitoring mit unbemannten Luftfahrtsystemen

(Groundspeed) gemessen wird. Aus der unterschiedlichen Beschleunigung durch Rückenwind und Gegenwind auf einer Kreisbahn lässt sich somit zusätzlich die absolute Windgeschwindigkeit und -richtung bestimmen, was in einer Masterarbeit implementiert und erfolgreich erprobt wurde (Petersen 2016). Darüber hinaus beschäftigt sich aktuell eine weitere Masterarbeit mit der Bestimmung relativer Intensität von Turbulenz aus Versatzdaten der IMU und des GNSS-Moduls, um die für Transportprozesse elementar wichtige Verwirbelung in der planetaren Grenzschicht der Atmosphäre abzuschätzen. Weiterhin werden kürzlich beschaffte, leichte optische Partikelzähler (sog. OPC) zur Erfassung der Aerosolverteilung eingesetzt. Eine bereits getestete Eigenentwicklung ist ein Haftsichtpollensammler, der aus einem flachen, mittels Schrittmotor langsam rotierenden Zylinder besteht, um den ein Haftsichtfilm gespannt wird. Eine Öffnung des Zylindergehäuses exponiert jeweils nur ein Segment des Haftfilms, das über den zeitlichen Fortschritt der Drehung jeweils einer bestimmten Flugphase zugeordnet und somit auch räumlich, insbesondere hinsichtlich der Höhenstufe, verortet werden kann. Darüber hinaus werden auch bildgebende Verfahren eingesetzt. Zu nennen sind hier zunächst photogrammetrische Verfahren, bei denen überlappende Senkrechtluftbilder die Kartierung und Höhenbestimmung der Erdoberfläche ermöglichen. Damit werden beispielsweise in fortgeschrittenen Seminaren der Masterstudiengänge Geographie sowie Klima- und Umweltwissenschaften Flussbettformen, z.B. von Iller und Wertach, bestimmt oder es wird ein Oberflächenmodell des Zugspitzplatts inklusive nördlichem Schneeferner errechnet. Weiterhin können Miniaturkameras mit modifizierten Infrarotfil-

tern zur Untersuchung der Photosyntheseleistung von Vegetationsflächen herangezogen werden. Aktuell in der Anschaffung begriffen ist schließlich ein Thermalkamerasystem, das Aufschluss über den Wärmehaushalt verschiedener Oberflächen geben soll. Einen Eindruck zu den inhaltlichen Fragestellungen, die mit derartiger UAS-gestützter Sensorik bearbeitet werden können, vermitteln die im Folgenden vorgestellten ersten Projekte.

## UAS-Projekte und Messkampagnen

### Intensivmesskampagnen ScaleX 2015 und 2016 - Fendt

Den bisher umfangreichsten Einsatz hatte die UAV-Flotte in der Messkampagne ScaleX unseres Partnerinstituts IMK-IFU (Institut für Meteorologie und Klimaforschung – Institut für Atmosphärische Umweltforschung) des KIT (Karlsruher Institut für Technologie). Ziel dieser Kampagne unter Beteiligung internationaler Kooperationspartner ist die Schließung von Energie- und Stoffhaushaltsgleichungen anhand gemessener meteorologischer und hydrologischer Größen – ein Thema, das Umweltveränderungen unter Bedingungen des Klimawandels adressiert. Hierzu wurden zahlreiche Bodenstationen und -sensoren auf einer ca. 10 ha großen Messfläche im TERENO- (Terrestrial Environmental Observatories) Gebiet Fendt bei Peißenberg platziert und in Intensivmessperioden mit etlichen Fernerkundungsgeräten ergänzt. Zusätzlich wurden 2015 an drei Positionen im Messgebiet parallel Befliegungen bis 1000 m über Grund mit den Starrflüglern des IGUA (Institut für Geographie der Universität

# Umweltmonitoring mit unbemannten Luftfahrtsystemen

Augsburg) durchgeführt, in den ersten 100 Höhenmetern begleitet von Quadrocoptern des ISSE (Institute for Software & Systems Engineering) der Universität Augsburg, die ebenfalls mit Temperatur- und Feuchtesensoren bestückt waren. Ein wesentliches Ergebnis dieser Befliegungen war, dass die UAS-gestützten Messungen Vorteile in der vertikalen und räumlichen Auflösung bringen und in den untersten 1000 Metern deutlich geringere Messungenauigkeiten aufwiesen als Fernerkundungsverfahren. Wie auch aus Abbildung 2 ersichtlich wird, ergab außerdem der Vergleich mit Messungen eines bemannten Ultraleichtflugzeugs sehr gute Übereinstimmungen (Wolf et al. 2016). Im Sommer 2016 wurde die Kampagne auf fünf Standorte ausgedehnt, die jeweils an den Kanten und im Zentrum einer 1 km<sup>3</sup> großen Gitternetzbox eines mesoskaligen Klimamodells liegen (s. Abb. 3). Auswertungen und Vergleiche hierzu sind derzeit noch im Gange.

## Machbarkeitsstudie Aerosol Supersite - Zugspitze

In Kooperation mit den Partnern Aerosol-Akademie, Umweltforschungsstation Schneefernerhaus UFS, KIT (IMK-IFU), DLR, dem Aerosolmessgerätehersteller Grimm und den kommerziellen UAS-Betreibern Quantum Systems und Dialogis wurde eine vom Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz finanzierte Studie zur Einrichtung einer sog. Supersite, d.h. eines intensiv beobachteten 10 x 10 km großen Gebietes zur Validierung von satellitengestützten Aerosolmessungen, durchgeführt. Neben dem Betrieb stationärer Messgeräte sollen dabei LIDAR-gestützte Aerosolmessungen neben solchen mit UAS durchgeführt werden, um die Abschätzung der

Profilvergleich Lufttemperatur 8:00 CEST 15.07.2015

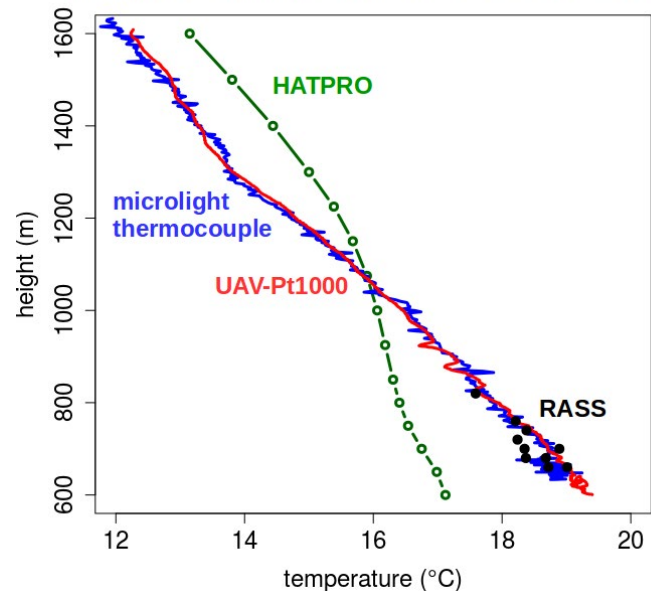


Abb. 2: Vergleich von Vertikalprofilen der Lufttemperatur zwischen 600 und 1000 Metern über dem Meer aufgenommen am 15.07.2015 um 8:00 Uhr CEST mit verschiedenen Messtechniken: grün: HATPRO (Humidity and Temperature Profiler) Mikrowellenspektrometer des IMK-IFU, schwarz: RASS (Radio Acoustic Sounding System) des IMK-IFU, blau: Thermocouple auf dem Ultraleichtflugzeug des IMK-IFU, rot: Widerstandsthermometer auf einem UAS des Instituts für Geographie der Universität Augsburg. Während HATPRO hohe Abweichungen zeigt, reichen die RASS-Daten nur bis ca. 200 Meter über Grund. Im Gegensatz zu diesen beiden Fernerkundungsmethoden zeigen die zwei luftgestützten In-Situ-Messungen hohe Übereinstimmung.



## Umweltmonitoring mit unbemannten Luftfahrtsystemen

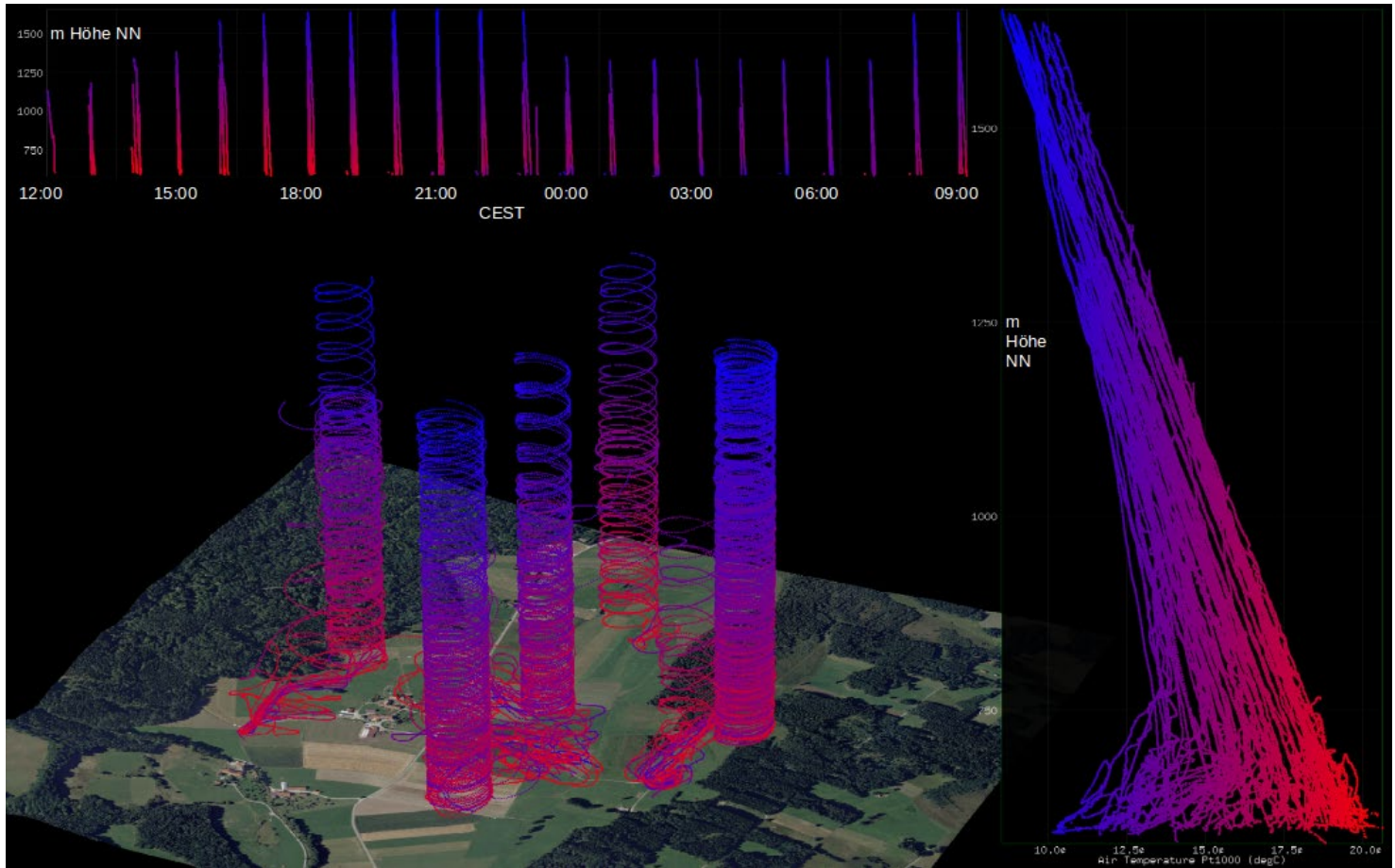


Abb. 3: Temperaturmesspunkte der Sondierungsflüge in Fendt während der ScaleX-2016 am 6./7.7.2016. Die Farbe der Punkte kennzeichnet die Lufttemperatur (rot: hoch, blau: niedrig). Oben: Zeit-Höhendiagramm der Messungen mit Aufstiegen bis zu 1000 m über Grund zu jeder vollen Stunde. Rechts: Temperatur-Höhendiagramm aller Aufstiege mit generell höheren Temperaturen tagsüber und stark ausgeprägter Bodeninversion nachts und morgens.

# Umweltmonitoring mit unbemannten Luftfahrtsystemen



*Abb. 4: Start eines UAS vom Dach der Forschungsseilbahn der Umweltforschungsstation Schneefernerhaus, rechts ist das Fangnetz als Sicherheitsmaßnahme für die Landung zu sehen.*

Aerosolkonzentration aus Satellitendaten zu verbessern. Die Vorstudie sollte u.a. zeigen, ob der UAS-Betrieb an der UFS auf der Zugspitze mit den dort herrschenden, z.T. extremen meteorologischen Randbedingungen prinzipiell möglich ist. In einer Reihe von Sondierungsflügen an zwei Terminen, die über das Gipfelniveau bis in die freie Atmosphäre reichten, wurden zwar tatsächlich Windstärken verzeichnet, die eine deutliche Erhöhung des Schubs im Vergleich zum Tiefland nötig machten, die aber noch immer genügend Sicherheitsreserven zuließen. Die Landung auf dem Dach der Forschungsseilbahn, auf einer 8 x 12 m großen Fläche (s. Abb. 4), erwies sich für die Nurflügler mit ihren relativ hohen Anfluggeschwin-

digkeiten als die größte Herausforderung, die aber mittels Fangnetz zu bewältigen war. Tatsächlich konnten, insbesondere bei böigem Wind, die leichtgewichtigen UAS der Universität Augsburg deutlich mehr, höhere, längere und weiter entfernte Flüge demonstrieren als die senkrecht startenden und landenden Modelle zweier kooperierender Firmen, die zu Vergleichszwecken ebenfalls an der Vorstudie teilnahmen.

## Pilotstudie zum Einsatz luftgestützter Pollensammler - LfU Augsburg

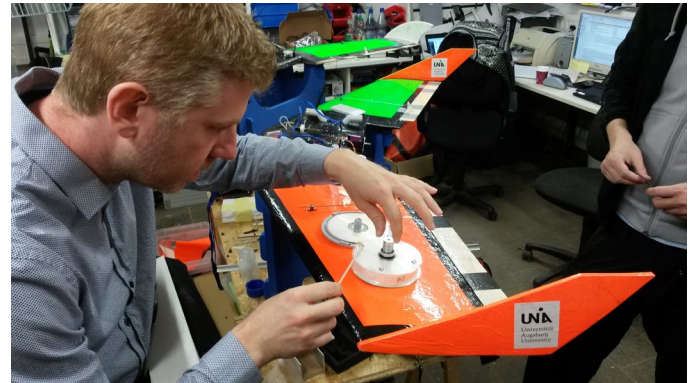
In Kooperation mit dem UNIKA-T (Universitäres Zentrum für Gesundheitswissenschaften am Klinikum Augsburg) und dem LfU (Landesamt für Umwelt) Augsburg fand im Frühjahr 2016 ein UAS-Experiment auf dem Gelände des LfU statt, um einen selbstentwickelten UAS-gestützten Pollensammler (vgl. Abb. 5) zu testen und erste Proben mit den dort aufgestellten bodengestützten Pollensammlern des UNIKA-T zu vergleichen. Flankierend wurden vom LfU zusätzlich bodengestützte Daten zur Meteorologie und Luftqualität bereitgestellt. Hauptfragestellung dieser Experimente ist der Unterschied zwischen bodennahen und höhergelegenen Pollenkonzentrationen und -zusammensetzungen, um lokale Quellen von Ferntransport in der Höhe unterscheiden zu können. Hierzu wurde in dieser Pilotstudie ein Flugplan mit fünfminütigen Aufenthalten in Kreisbahnen auf Höhenstufen von 300, 200, 100 und 50 Metern abgeflogen. Eine erste Sichtung der Proben lässt brauchbares Datenmaterial erwarten, das jedoch erst noch vollständig unter dem Mikroskop ausgewertet werden muss, um quantitative Aussagen treffen zu können. In einem Antrag zur Finan-

# Umweltmonitoring mit unbemannten Luftfahrtsystemen

zierung der Weiterentwicklung dieses vielversprechenden innovativen Messverfahrens wird der Parallelbetrieb der Pollensondierung an mehreren Standorten in Augsburg vorgeschlagen, um die Verteilung allergierelevanter Pollen im urbanen Raum zu untersuchen.

## Ausblick

Die UAS-gestützte Sondierung entwickelt sich zur Zeit zu einem neuen, ergänzenden Verfahren in der Umweltforschung, das sich neben bodengestützter Messung und Fernerkundung sicherlich als Standard etablieren wird, sobald die rechtlichen und sicherheitstechnischen Probleme überwunden sind. Am Lehrstuhl für Physische Geographie und Quantitative Methoden des Instituts für Geographie der Universität Augsburg wird die Entwicklung UAS-gestützter Umwelt- und Klimaforschung seit nunmehr drei Jahren stetig vorangetrieben, wobei schon eine Reihe verschiedenartiger Experimente in Hinblick auf aktuelle wissenschaftliche Fragestellungen realisiert werden konnten und auch die Einbindung in die Lehre sich als praktikabel und produktiv erwiesen hat. Weiterhin weist die Zusammenarbeit mit dem Institut für Informatik und dem ISSE in einem Fakultätsprojekt der Fakultät für Angewandte Informatik, deren erste gemeinsame Unternehmung die oben genannten ScaleX-Kampagnen waren, auf hohes Potential zum Ausbau interdisziplinärer Forschung in diesem Kontext hin. Um diese vielversprechenden Entwicklungen weiter voranzutreiben, wurde jüngst – ermöglicht durch die finanzielle Unterstützung der Universitätsleitung – ein weiterer Ausbau der UAS-Flotte in Angriff genommen und insbesondere die Sensorik durch leichtgewichtige optische



*Abb. 5: Prototyp eines Haftschichtpollensammlers auf einem UAS des Instituts für Geographie*

Partikelzähler und ein Thermalkamerasystem erweitert. Dadurch werden die Schwerpunktthemen Luftqualität und Stadtklimaforschung weiter gestärkt werden, die sich in das Konzept der Kompetenzbildung im disziplinübergreifenden Forschungsschwerpunkt Environmental Health Sciences der neuen Medizinfakultät in Augsburg bestens einfügen.



# Umweltmonitoring mit unbemannten Luftfahrtsystemen

## Literatur

- Petersen, E. (2016): *Abschätzung des Horizontalwindes der planetaren Grenzschicht durch Sondierung mit unbemannten Luftfahrtsystemen*, Masterarbeit am Institut für Geographie der Universität Augsburg.
- Philipp, A. (2015): Sondierung der atmosphärischen Grenzschicht mit unbemannten Luftfahrtsystemen, *Abstracts, 34. Jahrestagung des Arbeitskreis Klima der Deutschen Gesellschaft für Geographie*, Hattingen an der Ruhr.
- Philipp, A., Groos, A., Petersen, E., Bischoff, J., Szogs, S., Beck, C., Hähner, J., Jacobeit, J. (2016): Fixedwing UAV soundings of the boundary layer during the ScaleX 2015 summer campaign in southern Germany, *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 18, EGU2016-11235, Vienna.
- Philipp, A., Groos, A., Petersen, E. (2016): Fixedwing UAS soundings of the boundary layer during the ScaleX campaign 2015 in southern Germany, *Abstracts, 4th Conference of the International Society for Atmospheric Research using Remotely-piloted Aircraft ISARRA*, Toulouse.
- Seidel, J., Ketzler, G., Bechtel, B., Thies, B., Philipp, A., Böhner, J., Egli, S., Eisele, M., Herma, F., Langkamp, T., Petersen, E., Sachsen, T., Schlabin, D., Schneider, C. (2016): Mobile measurement techniques for local and micro-scale studies in urban and topo-climatology, *Die Erde* 147(1), S. 15-39.
- Wolf, B., Chwala, C., Fersch, B., Garvelmann, J., Junkermann, W., Zeeman, M. J., Angerer, A., Adler, B., Beck, C., Brosy, C., Brugger, P., Emeis, S., Dannenmann M., De Roo, F., Diaz-Pines, E., Haas, E., Hagen, M., Hajnsek, I., Jacobeit, J., Jagdhuber, T., Kalthoff, N., Kiese, R., Kunstmann, H., Kosak, O., Krieg, R., Malchow, C., Mauder, M., Merz, R., Notarnicola, C., Philipp, A., Reif, W., Reineke, S., Rödiger, T., Ruehr, N., Schäfer, K., Schrön, M., Senatore, A., Shupe, H., Völksch, I., Wanninger, C., Zacharias, S., Schmid, H.P. (2016): The ScaleX campaign: scale-crossing land-surface and boundary layer processes in the TERENO-preAlpine observatory, *Bulletin of the American Meteorological Society*, in press.

# Therapeutische Landschaften in der Psychoonkologie

## PROJEKTTEAM

- Dr. Joachim Rathmann  
joachim.rathmann@uni-wuerzburg.de  
Tel.: 0931 31 82437
- Sebastian Brumann  
sebastian.brumann@geo.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 2304

## PROJEKTPARTNER

- Wissenschaftszentrum Umwelt
- Zentrum für interdisziplinäre Gesundheitsforschung der Universität Augsburg

## Worum geht es?

Natur und Landschaft können einen positiven Einfluss auf das menschliche Wohlbefinden haben. Es wird im Folgenden dafür plädiert, in der psychoonkologischen Intervention Grünräume zur Steigerung therapeutischer Effekte zu nutzen. Eine selektive Literaturrecherche und Zusammenfassung der aktuellen Evidenz zum gesundheitsfördernden Potential von Natur und Landschaften zeigt, dass über das Konzept der therapeutischen Landschaften eine Brücke von der Geographie zur Psychoonkologie gebaut werden kann, um dabei zu helfen, das therapeutische Potential der psychoonkologischen Praxis zu erweitern.

## Landschaft als Gesundheitsressource

Landschaft als wesentliche Gesundheitsressource kann dabei helfen, das menschliche Wohlbefinden zu steigern und Gesundheit zu erhalten. Das ist der Kerngedanke des Konzepts der Therapeutischen Landschaften, das auf heilsame Orte fokussiert. Dieses Konzept impliziert einen weit gefassten Landschaftsbegriff, der sich nicht auf einen erdräumlichen Gebietsausschnitt beschränken lässt, sondern vielmehr sämtliche soziale und symbolische Zuschreibungen, Machtverhältnisse und emotionale Bindungen (sense of place) an einem Ort berücksichtigt (Gebhard & Kistemann 2016).

Landschaften können dabei positiv auf die körperlichen, seelischen und sozialen Aspekte von Gesundheit einwirken. Darüber hinaus kann aber auch das Betrachten naturnaher Gemälde oder Fotografien bereits zum Stressabbau führen und das Wohlbefinden positiv beeinflussen. Zahlreiche Belege lassen sich aus der Fachliteratur anfügen, die verdeutlichen, welche großen, auch gesundheitsökonomischen Vorteile sich aus der Natur für den Menschen ableiten lassen (Hartig et al. 2014). Landschaft kann die Erholung von Stress und geistiger Ermüdung fördern, positive Emotionen auslösen und verstärken, körperliche Bewegung fördern und soziale Begegnungen ermöglichen (Abraham et al. 2010). Ein naturnahes Landschaftsbild kann das menschliche Wohlbefinden dreifach beeinflussen: kurzfristige Erholung von Stress, schnellere körperliche Erholung und langfristig eine Verbesserung der allgemeinen Gesundheit.

Zusammenfassend bewegt sich der gesundheitsfördernde Einfluss von Natur und Landschaften in einem räum-

# Therapeutische Landschaften in der Psychoonkologie



*Ästhetisch hochwertige Landschaften können in besonderem Maß als Gesundheitsressource dienen (Schießplatzheide, Stadtwald Augsburg)*

lichen Gradienten von der Zimmerpflanze im unmittelbaren Wohn- und Arbeitsbereich über die Gartenarbeit bis hin zur Nutzung städtischer Parks und Sportstätten. In der räumlich erweiterten Perspektive dient auch das Aufsuchen von Naherholungsgebieten, von entfernten Schutzgebieten bzw. der nahezu unberührten Natur immer auch der Erholung und damit der Gesundheitsförderung.

## Therapeutische Landschaften in der Psychoonkologie

Die Psychoonkologie hat sich seit Mitte der 1970er-Jahre als eigenständiger Bestandteil in der Krebsversorgung etabliert und durch die Psychoneuroimmunologie neue Forschungsfelder eröffnet. Mit dem Aufkommen der Psychoonkologie als einer wissenschaftlichen Teildisziplin gilt es verstärkt, psychische Belastungen im Zusammenhang mit Krebserkrankungen zu mildern. Dabei gilt es, das gesamte soziale Umfeld während sämtlicher Erkrankungsphasen mit einzuschließen. Dies hat zur Folge, dass dabei Inhalte unterschiedlicher Fachbereiche, wie Medizin, Psychologie, Soziologie, praktische Philosophie und Ethik, Theologie sowie Pädagogik, relevant werden. Dazu wurden inzwischen aus den unterschiedlichen Disziplinen heraus eine Fülle anerkannter Methoden entwickelt, erprobt und teilweise etabliert. Das Ziel dabei ist es, die Lebensqualität des Erkrankten aber auch der Angehörigen zu erhöhen und individuelle und soziale Ressourcen zu stärken. Inzwischen ist die Psychoonkologie fest verankert im gesamten Behandlungsprozess von Krebskranken und hat schon vor Jahren Eingang in den Nationalen Krebsplan für Deutschland gefunden. Bereits eine kurze

# Therapeutische Landschaften in der Psychoonkologie

psychotherapeutische Intervention kann therapie- und krankheitsbedingte Belastungen erkennbar vermindern, wobei bislang der gezielte Rückgriff auf die naheliegende Ressource Natur und Landschaft unterbleibt.

Parallel zur Entwicklung in der Psychoonkologie wurde in der Umweltpsychologie der positive Effekt von Natur auf die menschliche Gesundheit wissenschaftlich nachgewiesen, so dass nun beide Entwicklungsstränge fruchtbar einander zugeführt werden können: Natur und Landschaft als ergänzende Ressource in der Psychoonkologie. Unmittelbar relevant für die psychologische Intervention sind sicherlich Ansätze der Stressreduktion, da Krebspatienten häufig in hohem Maße Distress ausgesetzt sind.

Noch gibt es große Defizite in der psychoonkologischen Forschung zum zusätzlichen gesundheitsfördernden Potential durch Grünräume. Dies zeigt sich u.a. darin, dass die Leitlinien zur psychoonkologischen Praxis diesen Bereich bislang gänzlich unerwähnt lassen. Dies ist umso erstaunlicher, weil die Psychoonkologie einerseits sehr interdisziplinär arbeitet und andererseits einen umfassenden Begriff von Krankheit und Gesundheit in einem biopsychosozialen Modell verfolgt (S3 Leitlinie 2014). In salutogenetischer Perspektive lässt sich die gesundheitsfördernde Wirkung von Natur und Landschaft bestens mit Ansätzen der psychoonkologischen Intervention verbinden. Beispielsweise basiert das Kohärenzgefühl (sense of coherence), das als Einschätzung darüber, wie Herausforderungen zu bewältigen sind, zu betrachten ist, wesentlich auf Ressourcen. Gesundheit ist abhängig davon, wie stark das Kohärenzgefühl entwickelt und die Abwehr von Stressoren möglich ist. An diesem zentralen

Konzept setzen zahlreiche psychoonkologische Interventionsstrategien an und zu den dabei diskutierten Ressourcen muss Landschaft hinzugezählt werden.

## Ausblick

Grundsätzliche Schwierigkeiten sowohl der Psychoonkologie als auch des heilsamen Einflusses von Natur auf die menschliche Gesundheit liegen in Effektstärken, die entweder gering sind oder durch zahlreiche Überlagerungen nur schwer nachweisbar sind und somit das therapeutische Agens mit spezifischen und unspezifischen Wirkmechanismen oft nur schwer zu identifizieren ist. Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass eine psychoonkologische Intervention immer sehr individuell erfolgt, was verallgemeinernde Aussagen erschwert. Da Krebserkrankungen oft mit depressiven Störungen, Ängsten und Fatigue verbunden sind, sollte sich die psychoonkologische Intervention den positiven Zusatzeffekt von Natur und Landschaft zu Nutze machen. Denn die positiven Effekte der „therapeutischen Landschaften“ sind praktisch nebenwirkungsfrei immer wirksam und ubiquitär verfügbar.

# Therapeutische Landschaften in der Psychoonkologie

## Literatur

- Abraham, A., Sommerhalder, K., Abel, T. (2010): Landscape and well-being: a scoping study on the health-promoting impact of outdoor environments, *Int. J. Public Health* 55, S. 59-69.
- Brumann, S. (2016): *Therapeutische Landschaften in der Psychoonkologie*, Geographica Augustana Manuskripte 20, Augsburg.
- Gebhard, U., Kistemann, T. (2016): *Landschaft, Identität und Gesundheit: Zum Konzept der Therapeutischen Landschaften*, Berlin: Springer.
- Hartig, T., Mitchell, R., de Vries, S., Frumkin, H. (2014) Nature and Health, *Annu. Rev. Public Health* 35, S. 207-228.
- Jonietz, D., Rathmann, J. (2013) Entwicklung einer Methodik zur GIS-gestützten Analyse therapeutischer Landschaften, in: Strobl, J., Blaschke, T., Griesebner, G., Zagel, B. (Hg.): *Angewandte Geoinformatik 2013*, Berlin und Offenbach: S. 600-609.
- Rathmann, J. (2015): Therapeutische Landschaften – neue Argumente für eine umfassende Landschaftsethik, *Abstract, Deutscher Kongress für Geographie*, Berlin.
- Rathmann, J. (2016): Therapeutische Landschaften – neue Argumente für Gesundheitstourismus und Naturschutz, in: Mayer, M., Job, H. (Hg.): *Naturtourismus - Chancen und Herausforderungen*, Mannheim (= Studien zur Freizeit- und Tourismusforschung, 12), S. 61-70.
- Rathmann, J., Sacher, P., Mayer, M., Job, H. (2016): Trade-offs between the forest ecosystem services biodiversity and recreation: Perception and assessment of deadwood by outdoor recreationists and the general public in Bavaria (SE Germany), *Abstract 8<sup>th</sup> Conference on Monitoring and Management of Visitors in Recreation and Protected Areas (MMV)*, Novi Sad.
- S3-Leitlinie (2014): *Leitlinienprogramm Onkologie (Deutsche Krebsgesellschaft, Deutsche Krebshilfe, AWMF): Psychoonkologische Diagnostik, Beratung und Behandlung von erwachsenen Krebspatienten, Leitlinienreport 1.0, 2014*, AWMF-Registernummer: 032/051OL, <http://leitlinienprogramm-onkologie.de/Leitlinien.7.0.html>.

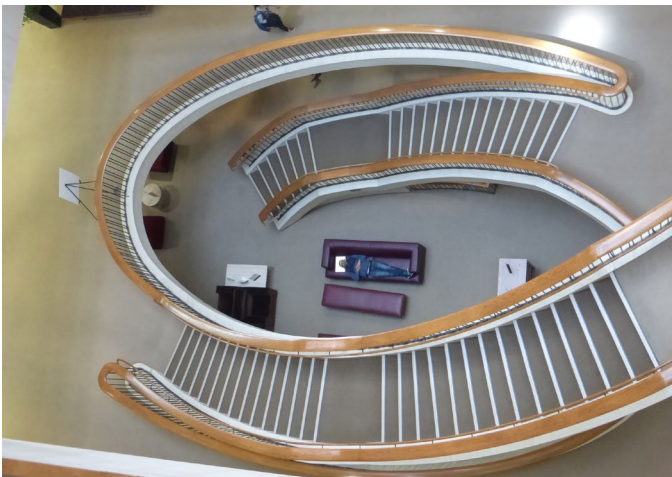


# Streiflicht: Environmental Health Sciences in den USA

Environmental Health Sciences (EHS) sind in den USA seit den 1960er-Jahren institutionell etabliert: schon 1966 wurde innerhalb der US-amerikanischen nationalen Gesundheitsinstitute eine Abteilung für Environmental Health Sciences gegründet. Seit 1969 gibt es das National Institute for Environmental Health Sciences (NIEHS). Jährlich werden hohe Beträge in der Größenordnung von derzeit ca. 1 Milliarde US-Dollar investiert. Insgesamt sind die Nationalen Gesundheitsinstitute der USA, zu denen neben dem NIEHS noch weitere 26 Forschungsinstitute zählen, die an den Ausgaben gemessen größten Einrichtungen der Forschungsförderung weltweit. Auch deshalb hat dieser Forschungszweig hohe Anziehungskraft für herausragende internationale Nachwuchswissenschaftler. Mit Martin Rodbell ging 1994 auch der Nobelpreis für Physiologie und Medizin an einen NIEHS-Forscher.



Im Juni 2016 besuchte die Präsidentin der Universität Augsburg, Sabine Doering-Manteuffel, gemeinsam mit Claudia Traidl-Hofmann, Anna Ruile, Jens Soentgen und Tilman Schröder sowohl das Public Health Institute der Harvard University als auch die US-amerikanische Umweltbehörde Environmental Protection Agency und das NIEHS. Es zeigte sich, dass die Augsburger Entwicklungen in den USA wohlbekannt sind, besonders die Studien im Kontext der großen Kohorten (Nationale Kohorte – NAKO, MONICA, KORA) werden rezipiert. Die US-amerikanischen Kollegen sind sehr an den Augsburger Entwicklungen interessiert, Kooperation ist erwünscht, ausgehend von individueller Initiative. Die schon bestehenden Kooperationen werden künftig im Zeichen der Medizinischen Fakultät sicher intensiviert werden.



*Mittagsschlaf in Harvard*

## Streiflicht: Environmental Health Sciences in den USA



*Expositionskammer in der EPA*

Zentrale Forschungsschwerpunkte der Environmental Health in den USA sind: Chemikalien (z.B. Aromata in E-Zigaretten), Umwelt & Gerechtigkeit, Luftverschmutzung in Außenluft und Innenräumen sowie die beruflich bedingte Exposition. Es gibt in den USA in manchen Bereichen immer noch Probleme, die in Europa schon lange weitgehend überwunden sind, etwa mit Bleifarbstoffen (Bleiweiß, Menninge), die mancherorts in den USA auch heute noch ein Gesundheitsrisiko darstellen. Im Bereich der Luftqualität gelten demgegenüber z.B. für Partikel deutlich strengere Grenzwerte als in Europa, die auch eingehalten werden. Der Grenzwert für PM<sub>2,5</sub> liegt in den USA für das Jahresmittel bei 12 Mikrogramm pro Kubikmeter Luft und wird auch (meist) eingehalten, in Europa ist er mehr als doppelt so hoch (25 Mikrogramm pro Kubikmeter Luft).

# RESSOURCENSTRATEGIE UND STOFFGESCHICHTEN

- 33 Lehrstuhl für Ressourcenstrategie
- 42 Seltene Erden in Elektroaltgeräten
- 46 KosmEthik
- 50 ForCycle – Zukunftssichernde Nutzung von Wertstoffen
- 53 Streiflicht: Der Stickstoff und das Leben



# Lehrstuhl für Ressourcenstrategie

## PROJEKTTEAM

- Prof. Dr. Armin Reller  
armin.reller@wzu.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 3000
- Prof. Dr. Richard Weihrich  
Richard.weihrich@chemie.uni-regensburg.de
- Renate Diessenbacher  
renate.diessenbacher@wzu.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 3001
- Joshena Dießenbacher  
joshena.diessenbacher@wzu.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 3034
- Dr.-Ing. Oliver Gantner  
oliver.gantner@wzu.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 3566
- Sebastian Haumann  
sebastian.haumann@mrm.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 3134
- Thomas Kippes  
thomas.kippes@wzu.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 3562
- Oscar Klier  
oscar.klier@wzu.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 589 3566
- Korbinian Koehler  
k-koehler@mytum.de  
Tel.: 0821 598 3134
- Ariane Lubberger  
ariane.lubberger@wzu.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 3575

- Dr. Simon Meißner  
simon.meissner@wzu.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 3562
- Dr. Florian Pielnhöfer  
florian.pielnhöfer@mrm.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 3134
- Johannes Riese  
johannes.riese@wzu.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 3026
- Dr. Stefan Rommel  
stefan.rommel@mrm.uni-augsburg.de
- PD Dr. Claudia Schmidt  
claudia.schmidt@wzu.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 3575
- Dr. Andrea Thorenz  
andrea.thorenz@wzu.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 3948
- Dr. Volker Zepf  
volker.zepf@wzu.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 3526

# Lehrstuhl für Ressourcenstrategie

## Worum geht es?

Die zunehmende Globalisierung und Technisierung der Gesellschaft, verbunden mit dem Wandel industrieller Fertigungsprozesse, einem weltumspannenden Güter-, Finanz- und Informationsaustausch sowie der Verbreitung westlicher Konsummuster führen zu einem steigenden Verbrauch an mineralischen, energetischen und biogenen Ressourcen jeglicher Art. Dieser substanzielle Wandel ist durch komplexe Wechselwirkungen innerhalb des Mensch-Umwelt-Systems gekennzeichnet und führt mittlerweile zu weitreichenden wirtschaftlichen, gesellschaftlichen, technischen und ökologischen Umbrüchen. Dies äußert sich beispielsweise durch den anthropogen induzierten Klimawandel infolge eines gesteigerten Verbrauchs fossiler Energieträger oder die zunehmenden Risiken der Marktverknappung zahlreicher für Hochtechnologiebranchen als strategisch zu bezeichnender Rohstoffe. Hierzu gehören etwa seltene Metalle wie Platin, Gallium, Hafnium, Indium oder Neodym, die insbesondere wegen ihrer spezifischen Eigenschaften für Energietechnologien, im IT- und im Automobilsektor oder aber in der Luft- und Raumfahrt mittlerweile unentbehrlich geworden sind. Gleiches gilt für die weltweit zunehmende Inanspruchnahme von Böden und Wasser zur Bereitstellung ausreichender Nahrungsmittel oder biogener Energieträger.

Aufgrund der hohen Dynamik und Komplexität dieser Veränderungen ist es unerlässlich, ganzheitliche Strategien für einen zukunftsweisenden Umgang mit Ressourcen zu entwickeln, die für politische, wirtschaftliche, wissenschaftliche und zivilgesellschaftliche Akteure gleichermaßen Anknüpfungspunkte zur gemeinsamen Gestaltung einer ressourceneffizienten und verantwortlichen



*Abb. 1: Lehrstuhl für Ressourcenstrategie, v.l.n.r.: S. Meißner, J. Dießenbacher, C. Schmidt, V. Zepf, A. Thorenz, Prof. A. Reller, R. Diessenbacher, O. Klier, O. Gantner, J. Fendt, A. Lubberger; nicht im Bild: Prof. R. Weihrich, S. Haumann, Th. Kippes, K. Koehler, F. Pielnhöfer, S. Rommel.*

Gesellschaft bieten.

Unter der Leitung von Prof. Dr. Armin Reller werden am Lehrstuhl für Ressourcenstrategie Bestandsaufnahmen und Konzepte für einen zukunftsfähigen Umgang mit Ressourcen aller Art, insbesondere für Metalle und Werkstoffe etablierter und zukünftiger (Hoch-)Technologien, erarbeitet. Dabei werden unter anderem die bei der Entwicklung und Bereitstellung von Technologien und Funktionswerkstoffen entstehenden ressourcenspezifischen und ökologischen Risiken (im Sinne von Rohstoffabhängigkeiten oder Dissipationsphänomenen) sowie Potentiale (in Form von Substitutionsalternativen) auf der

Grundlage von interdisziplinären Kritikalitätskonzepten analysiert und bewertet. Dies geschieht sowohl für die technologische Anwendung selbst als auch entlang der Wertschöpfungs- und Produktionsketten spezifischer Technologiepfade (von der Primärförderung von Rohstoffen bis hin zur Nachnutzungsphase).

Ziel ist es, durch die Analyse der raum-zeitlichen Verflechtungen von Ressourcenströmen – unter Berücksichtigung von Ökologie, Ökonomie, Politik und Sozialem – Entscheidungs- und Handlungsgrundlagen für eine nachhaltige Gestaltung neuer Produkte, Fertigungsprozesse oder Technologien zu schaffen. Stoffe werden hier also nicht nur monothematisch, sondern ganzheitlich, also in Bezug auf ihre Funktionen, Eigenschaften, Prozesse und vor allem eingebettet in ihr Wirkumfeld betrachtet.

Neben metallisch-mineralischen Rohstoffen stehen auch erneuerbare Ressourcen im Fokus der Betrachtungen. Dies betrifft beispielsweise den Umgang mit Wasser, Böden, Luft oder Agrarrohstoffen wie Holz oder Nahrungsmittel, deren Wirk- und Einflussphären auf unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Bezugsebenen multiperspektivisch betrachtet werden.

Darüber hinaus wurde der Lehrstuhl im April 2016 durch die Arbeitsgruppe um Prof. Dr. Richard Weihrich erweitert, die sich im Forschungsbereich „Nachhaltige Chemie der Materialien und der Ressourcen“ mithilfe des Einsatzes explorativer Computer-Modellierung der Synthese und Charakterisierung neuer, innovativer Materialien bei gleichzeitiger Reduzierung der Kritikalität widmet.

## Forschung

Die Forschungstätigkeiten des Lehrstuhls erstrecken sich über die Bereiche der Kritikalitätsforschung, des Ressourcenmanagements (Ressourcenströme und Produktionsketten), der nachhaltigen Chemie, der interdisziplinären Umweltforschung und des Umweltmanagements. Weiterhin werden Vermittlungskonzepte im Bereich der nachhaltigen Entwicklung und Ressourcennutzung (Bildung für Nachhaltige Entwicklung) erarbeitet. Hierbei spielt unter anderem das am WZU entwickelte Konzept der Stoffgeschichten eine wichtige Rolle, um die vielschichtigen Wechselwirkungen und Implikationen der Rohstoffnutzung zu erkennen.

Der Fokus richtet sich dabei auf den Rohstoffabbau, die Weiterverarbeitung bis zum fertigen Produkt sowie die anschließende Rückführung oder Verwertung von bereits genutzten Ressourcen. Mittels der Analyse von Stoffstromketten und ihren raum-zeitlichen Verflechtungen soll versucht werden, deren Stoffgeschichten nachvollziehbar und transparent zu machen. Dabei werden nicht nur die wirtschaftliche und technische Planung entlang von Wertschöpfungsketten sowie die Einsatzbereiche von verschiedensten Rohstoffen und Funktionsmaterialien betrachtet, sondern auch die Risiken und Abhängigkeiten in Form von nicht „planbaren“ Rückkopplungen innerhalb des Mensch-Umwelt-Systems.

Dies betrifft beispielsweise den zunehmenden Verlust von seltenen Metallen und Funktionsmaterialien durch dissipative Prozesse im Bereich von High-Tech-Anwendungen. Da viele Metalle oftmals nur in äußerst geringen Mengen pro Geräteeinheit wie etwa eines Flachbildschirms oder Mikroprozessors zum Einsatz kommen, ist deren Recycling in vielen Fällen wirtschaftlich und

technisch bislang kaum realisierbar. Vor diesem Hintergrund wird nicht nur die Knappheit vieler strategischer Metalle weiter zunehmen, sondern, sobald diese als Elektroschrott unsachgemäß „entsorgt“ werden, auch deren bisher weitgehend unbekannte Wirkungsspektren und Risiken im Schnittpunkt zwischen Technosphäre und Ökosphäre. Angesichts dessen sind zukünftig große Anstrengungen hinsichtlich einer effizienteren Rückführung, aber auch umfassender Strategien der Effizienzsteigerung notwendig. Eine Möglichkeit stellt die Suche nach potentiellen Substituten sowie nach Konzepten einer suffizienten und konsistenten Produktentwicklung dar. Stoffkarten helfen dabei, die Herkunft von Ressourcen und deren Weiterverarbeitung darzustellen, um damit sowohl eventuelle Abhängigkeiten aufzuzeigen als auch ökonomisch, ökologisch und soziopolitisch wichtige Hinweise zur „Kritikalität“ eines Stoffes zu geben.

Auf der Grundlage derartiger Bestandsaufnahmen werden Elemente einer nachhaltigen Ressourcenpolitik sowie geeignete Strategien für einen zukunftsfähigen und verantwortungsvollen Umgang mit Rohstoffen unterschiedlichster Art entwickelt. Dabei spielen neben den komplexen wirtschaftspolitischen Rahmenbedingungen zunehmend auch kulturelle Gegebenheiten sowie die Frage nach umwelt- und sozialgerechten Lebensstilen eine bedeutende Rolle. Die Forschungsarbeiten werden in interdisziplinäre (Weiter-)Bildungskonzepte für Multiplikatoren und Entscheidungsträger aus Wirtschaft, Politik und Bildung implementiert und dabei kontinuierlich durch Qualifizierungsarbeiten (Bachelor-, Master- und Doktorarbeiten) und Gutachten für Wirtschaft und Politik ergänzt. Der Lehrstuhl nimmt somit eine Schnittstelle zwischen vielen Disziplinen wie Physik,

Materialwissenschaften, Geographie, Sozial- und Wirtschaftswissenschaften ein und kooperiert mit zahlreichen inner- und außeruniversitären Einrichtungen. Die Forschungsaktivitäten erfolgen hierbei in enger Zusammenarbeit mit dem WZU sowie den Instituten für Physik und Materials Resource Management (MRM) der Universität Augsburg. Ferner wird unter der Leitung von Prof. Dr. A. Reller in Alzenau der Aufbau eines Fraunhofer-Institutes für Wertstoff-Kreisläufe und Ressourcenstrategie (IWKS) vorangetrieben. Im Rahmen dieser Zusammenarbeit werden im Bereich der angewandten Forschung die Arbeitsschwerpunkte Ressourceneffizienz, Recyclingtechnologien, Aufbereitungstechniken und Substitutionswerkstoffe unter besonderer Berücksichtigung der Ressourcenstrategie und -kritikalität behandelt. Die Forschungsaktivitäten finden dabei an der Schnittstelle zwischen Materialwissenschaften, Wirtschaftswissenschaften und Ressourcenstrategie statt und zeichnen sich durch einen hohen Grad an Interdisziplinarität aus.

Ähnliches gilt für die seit April 2016 am Lehrstuhl und am MRM angesiedelte Arbeitsgruppe um Prof. Dr. Richard Weihrich im Forschungsbereich „Nachhaltige Chemie der Materialien und der Ressourcen“. Die Arbeitsschwerpunkte liegen hierbei in der Synthese und Charakterisierung neuer, innovativer Materialien, die sich neben einer verbesserten Leistungsfähigkeit auch durch eine höhere Ressourceneffizienz und damit geringere Kritikalität auszeichnen. Die Stofftrennung (= Analyse) und Stoffherstellung (= Synthese) sind die ureigensten Themen der Chemie, der Lehre von den Stoffen und ihren Änderungen. Sie stellt somit eine Vielzahl von Kompetenzen bereit, um entlang von Wertschöpfungs-

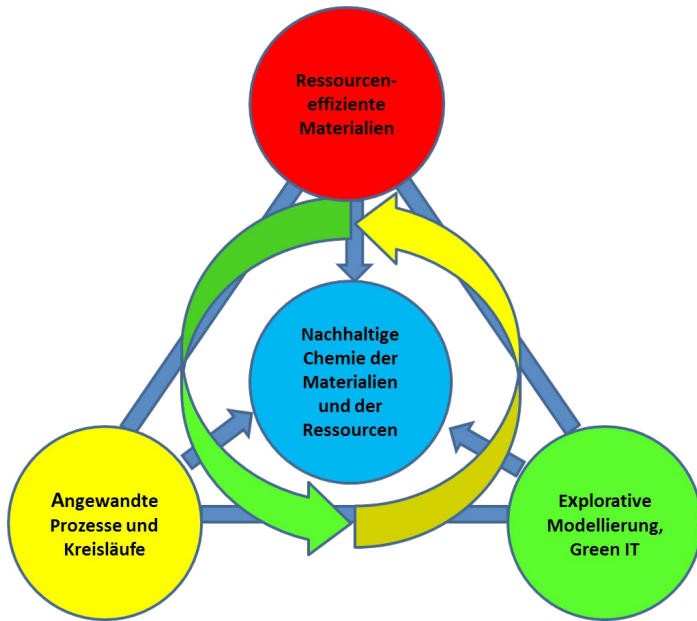


Abb. 2: Multiperspektivische Betrachtungsebenen einer nachhaltigen Chemie der Materialien und Ressourcen

ketten – von der Gewinnung von Rohstoffen aus Mineralen über die stoffliche Prozessierung, Optimierung und Umsetzung in High-Tech-Produkte bis zur Entwicklung neuer Materialien für Zukunftstechnologien – Verbesserungspotenziale im Sinne nachhaltiger technischer Innovationen zu identifizieren und umzusetzen. Hierbei werden verschiedene Forschungsbereiche sowie Theorie und Praxis nach dem **R+MAX**-Konzept miteinander verknüpft (Abb. 2): die „Entwicklung und Forschung

zu Ressourcenstrategien“ erfolgt durch die Verbindung der Arbeitsfelder „Entwicklung Zukunfts- und ressourceneffizienter Materialien“, „Angewandte Synthesen und Umwandlungsprozesse“ und „Einsatz eXplorativer Computer-Modellierung“.

Durch die Weiterentwicklung und Kombination verschiedener Synthese- und Analyseverfahren sowie die Vernetzung mit Wirtschafts- und Umweltwissenschaften können nicht nur neuartige Materialien „designed“, sondern bereits im Vorfeld die Folgeimplikationen in der praktischen Anwendung eingeschätzt werden. Dies bietet wiederum die Grundlage für die Entwicklung intelligenter, ressourcen- und umweltschonender Werkstoffe – von der Grundlagenforschung bis hin zur technischen Anwendung.

Neben der Forschung zu Materialien mit interessanten magnetischen, supraleitenden oder thermoelektrischen Eigenschaften, die im Arbeitskreis für Chemie der Materialien und Ressourcen durchgeführt wird, seien beispielhaft die Untersuchungen zu Lithium-Akkumulatoren herausgestellt: In einer Industriekooperation wurden olivinartige Kathodenmaterialien hinsichtlich der Substitutionspotenziale von Eisen durch Cobalt und Nickel untersucht. Diese Verbindungen basieren auf dem Mineral Triphylin (Lithium-Eisenphosphat,  $\text{LiFePO}_4$ ), das durch Geheimrat J.N. von Fuchs 1834 im Bayerischen Wald entdeckt wurde. Heute kommt es u.a. in Li-Ionen-Akkumulatoren für Elektrofahrräder zum Einsatz. Es liefert zwar eine geringere Spannung von 3,3 V und hat eine geringere Kapazität gegenüber dem gebräuchlicheren Lithium-Cobaltoxid ( $\text{LiCoO}_2$ , 3,7 V), ist aber deutlich stabiler und somit im Anwendungsalltag sicherer als das Cobaltoxid, da der Sauerstoff an Phosphor stärker gebun-

den ist. Durch die Substitution des Eisens durch Cobalt ( $\text{LiCoPO}_4$ ) kann in Olivinen die Spannung über 4 V gesteigert werden. Cobalt ist jedoch ein giftiges, teureres und vor allem ressourcenkritisches Element. Die weitere Substitution von Cobalt durch das weniger kritische Nickel führt wiederum zu einem Olivin ( $\text{LiNiPO}_4$ ), für den sogar eine Steigerung der Spannung auf über 5 V und damit eine erheblich höhere Kapazität für Hochvolt-Akkumulatoren errechnet wurde. Bis zu einem Einsatz der Nickelverbindung sind noch viele wissenschaftliche und technische Fragen zu lösen. So wurden u.a. verschiedene Synthesewege getestet, teils mit festen Stoffen, teils in Lösungen oder Gelen. Hierbei zeigte sich, dass bereits kleinste Verunreinigungen oder Baufehler der Materialien sowohl die Funktion als auch die Lebensdauer der Verbindung erheblich stören. Allerdings eröffnen die Ergebnisse dieser Untersuchungen erste Wege zur ressourcen- und energieeffizienten Optimierung der Synthese- und Herstellungsverfahren, die sich auf andere Materialien übertragen lassen. So könnten durch Weiterentwicklungen softer Synthesekonzepte ähnliche Materialien schon bei etwa 190°C anstatt bei 960°C hergestellt werden. Dieses Beispiel zeigt, wie Überlegungen zu technischen Parametern und Kritikalität zusammenspielen.

### Forschungs- und Projektaktivitäten

Die Aktivitäten des Lehrstuhls umfassen neben der Forschung und Lehre auch die Zusammenarbeit mit verschiedenen Partnern aus Wissenschaft und Wirtschaft, um ressourcenstrategische Ansätze in der Theorie und Praxis zu etablieren. Im Jahr 2016 wurden u.a. folgende Projektarbeiten und Aktivitäten durchgeführt, die zum

Teil über Drittmittel finanziert wurden (Auswahl):

- Mitwirkung in der Fraunhofer-Projektgruppe für Wertstoffkreisläufe und Ressourcenstrategie (IWKS), seit 2011
- Mitgliedschaft in der Deutschen Phosphorplattform (DPP), seit 2015
- Ressourcenstrategie für die Rohstoffwende Bayern – unter besonderer Berücksichtigung von Sekundärrohstoffen (Projektverbund ForCycle – Rohstoffwende Bayern des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt und Verbraucherschutz), Projektlaufzeit 2014 - 2017, (s. auch Beitrag auf Seite 50)
- Potentialabschätzung ausgewählter Abfallströme für die Vorbereitung zur Wiederverwendung (Projektleitung: Resource Lab der Universität Augsburg; gefördert vom Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz), Projektlaufzeit Nov. 2015 bis Oktober 2017
- Forschungsk Kooperation zwischen dem Resource Lab der Universität Augsburg und der Universität von Hawai'i, Honolulu, zum Thema nachhaltige Ressourcen- und Energiekonzepte, seit 2014
- Einführung eines Umweltmanagementsystems nach dem Ökoprotit-Standard im Rechenzentrum der Universität Augsburg (s. auch Beitrag auf Seite 86)
- Erstellung einer Klima- und Ressourcenstrategie für die Ludwig Stocker Hofpfisterei, München, Projektlaufzeit 2016 - 2017
- Ferner beteiligen sich zahlreiche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Lehrstuhls ehrenamtlich an den Aktivitäten des Arbeitskreises für Nachhaltigkeit der Universität Augsburg (s. Beitrag auf Seite 86).



# Lehrstuhl für Ressourcenstrategie

- Mitwirkung am Schwerpunktprojekt „Kristalline Nichtgleichgewichtsphasen“ (SPP1415) der Deutschen Forschungsgemeinschaft

## Graduiertenkolleg „Ressourcenstrategische Konzepte für zukunftsfähige Energiesysteme“

Die Vernetzung zwischen Ausbildung und Forschung spiegelt sich im Besonderen im Graduiertenkolleg „Ressourcenstrategische Konzepte für zukunftsfähige Energiesysteme“ wider, welches am Institut für Materials Resource Management angesiedelt ist und durch das Bayerische Staatsministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst über eine Laufzeit von 5 Jahren mit 3,65 Millionen Euro finanziert wird. Seit 2012 werden im Rahmen dieser interdisziplinär ausgerichteten Doktorandenschule 12 hochqualifizierte Nachwuchswissenschaftlerinnen und Nachwuchswissenschaftler aus unterschiedlichen Fachbereichen ausgebildet und gefördert, die Lösungsansätze für die Optimierung der Ressourcen- und Energieeffizienz für bestehende und neue Technologien entwickeln. Im Vordergrund steht dabei die Etablierung einer zukunftsweisenden Stoffkreislaufwirtschaft, die nicht nur der Primärnutzung von Ressourcen, sondern auch der wiederholten Nutzung und dem Recycling eine große Bedeutung zumisst.

Die Koordination und wissenschaftliche Ausgestaltung des Graduiertenkollegs erfolgt unter der Leitung von Prof. Dr. A. Reller am Lehrstuhl für Ressourcenstrategie in enger Kooperation mit dem Lehrstuhl für Experimentalphysik II (Prof. Dr. S. Horn), dem Lehrstuhl für Experimentalphysik V (Prof. Dr. A. Loidl) und dem Lehrstuhl

für Production & Supply Chain Management (Prof. Dr. A. Tuma).

Seitens des Lehrstuhls für Ressourcenstrategie werden derzeit folgende Dissertationsprojekte mit durchgeführt:

- Ressourcenstrategische Betrachtung der Kritikalität von Phosphor (Dr.-Ing. O. Gantner; Fachbereich Geographie und Wirtschaftsingenieurwesen)
- Kontextbezogene und funktionspezifische Kritikalitätsbetrachtung von LED-Beleuchtungssystemen (O. Klier, M. Sc.; Fachbereich Materialwissenschaften)
- Zukunfts- und Konfliktmaterial Metall: Abbau und Nutzung einer abiotischen Ressource auf dem Weg in Richtung soziale und ökologische Verantwortung? (J. Dießenbacher, M. A.; Fachbereich Soziologie)
- Ansatzpunkte der Ethik beim Umgang mit natürlichen Ressourcen und ihre Konkretisierung im Fallbeispiel Kosmetik (A. Lubberger, M. A.; Fachbereich Umweltethik, s. Beitrag auf Seite 46)

## Lehraktivitäten

Der Lehrstuhl für Ressourcenstrategie beteiligt sich mit einem umfangreichen Angebot an (interdisziplinären) Lehrveranstaltungen an folgenden Studiengängen der Universität Augsburg:

- Bachelor und Master Wirtschaftsingenieurwesen (WING)
- Bachelor und Master Geographie
- Master Klima- und Umweltwissenschaften
- Bachelor Erziehungswissenschaften

Zudem werden einzelne Lehrveranstaltungen für die Masterstudiengänge Umweltethik und Sozialwissenschaftliche Konfliktforschung sowie für den Bachelor-

studiengang Rechts- und Wirtschaftswissenschaften geöffnet. Aktuell werden im Semesterturnus Vorlesungen, Seminare und Exkursionen mit inhaltlichen Schwerpunkten zu Ressourceneffizienz und -strategien insbesondere im Zusammenhang mit i) Bildung für nachhaltige Entwicklung, ii) (Funktions-)Materialien, Produktionsketten und Zukunftstechnologien, iii) der Energiewende und zukunftsfähigen Energiesystemen sowie zu den Themengebieten „Humanökologie“, „Ressourcengeographie“, „Stoffgeschichten“ und „Kritikalitätsbewertungen“ angeboten. Ergänzt wird dieses Themenspektrum seit dem Sommersemester 2016 um das Fachgebiet „Ressourcen und technologische Anwendungen im Bereich der Schulmedizin“.

Sämtliche Lehrveranstaltungen thematisieren sowohl fachliche wie inter- und transdisziplinäre als auch theoretische und praktische Fragestellungen mit ressourcenstrategischem Hintergrund.

## Studien- und Qualifizierungsarbeiten

Die Ausbildungs- und Forschungstätigkeiten werden durch Studien- und Qualifizierungsarbeiten zu einem nachhaltigen und zukunftsfähigen Umgang mit Ressourcen unterstützt. Im Folgenden soll eine Auswahl an Qualifizierungsarbeiten, die in 2016 angefertigt beziehungsweise abgeschlossen wurden, die Bandbreite an Forschungsthemen veranschaulichen:

- Kritikalitätsbetrachtung von Zytostatika und ihre raum-zeitlichen Wirkspektren (Masterarbeit von N. Fritz)
- Ressourceneinsatz in der Medizintechnik am Beispiel der Magnetresonanztomographie (Masterarbeit von T. Kippes)

- Ausmaß und Ausprägung dezentraler Elemente im auf erneuerbaren Energien basierenden Strommarkt (Masterarbeit von T. Uhlmann)
- Energiegenossenschaften nach den EEG-Novellen von 2012 und 2014: Begrenzung sozialer Innovationen durch strukturelle Anpassungsprozesse? (Masterarbeit von F. Tenk)
- Zukünftige Entwicklung des Kobaltbedarfs im Zuge der Elektrifizierung von Personenkraftfahrzeugen am Beispiel des Lithium-Ionen-Akkumulators (Bachelorarbeit von H. Nieroba)
- Kritikalitätsbewertung von Platingruppenmetallen am Beispiel von Abgaskatalysatoren (Bachelorarbeit von F. Pfeiffer)
- Das Wechselwirkungsgefüge zwischen der globalen Lebensmittelproduktion und dem Klimawandel unter besonderer Berücksichtigung der (industriellen) Nutztierhaltung (Bachelorarbeit von J. Weser)

## Publikationen

- Weihrich, R., Yan, W., Rothballer, J., Peter, Ph., Rommel, S. M., Haumann, S., Winter, F., Schwickert, Ch., Poettgen, R. (2015): Tuneable anisotropy and magnetism in  $\text{Sn}_2\text{Co}_3\text{S}_{2-x}\text{Se}_x$  – probed by  $^{119}\text{Sn}$  Mößbauer Spectroscopy and DFT studies, *Dalton Transactions* 44, S. 15855-15864.
- Rommel, S. M., Schall, N., Brüning, F., Rothballer, J., Weihrich, R. (2015): Characterization of the carbon-coated  $\text{LiNi}_{1-y}\text{Co}_y\text{PO}_4$  solid solution synthesized by a non-aqueous sol-gel route, *Ionics* 21, S. 325-333.
- Bachhuber, F., Krach, A., Furtner, A., Söhnle, T., Rothballer, J., Weihrich, R. (2015): Phase Stabilities of



- pyrite-related MTCh Compounds (M=Ni, Pd, Pt; T=Si, Ge, Sn, Pb; Ch=S, Se, Te): A systematic DFT study, *J. Solid State Chem.* 226, S. 29-35.
- Liu, B., Köpf, M., Abbas, A. A., Wang, X., Guo, Q., Jia, Y., Xia, F., Weihrich, R., Bachhuber, F., Pielnhofer, F., Wang, H., Dhall, R., Cronin, S. B., Ge, M., Fang, X., Nilges, T., Zhou, C. (2015): Black Arsenic-Phosphorus: Layered Anisotropic Infrared Semiconductors with Highly Tunable Compositions and Properties, *Advanced Materials* 27, S. 4423-4429.
  - Hutner, P., Thorenz, A., Tuma, A. (2016): Waste prevention in communities: A comprehensive survey analyzing status quo, potentials, barriers and measures, *Journal of Cleaner Production* 141, S. 837-851.
  - Helbig, C., Eskinder, D. G., Pillain, B., Young, S. B., Thorenz, A., Tuma, A., Sonnemann, G. (2016): Extending the geopolitical supply risk indicator: Application of life cycle sustainability assessment to the petrochemical supply chain of polyacrylonitrile-based carbon fibers, *Journal of Cleaner Production* 137, S. 1170-1178.
  - Hutner, P., Thorenz, A., Tuma, A., Bayerisches Landesamt für Umwelt (2016): *Leitfaden zur Erstellung kommunaler Abfallvermeidungskonzepte*, München: Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (Hg.).
  - Gantner, O. (2016): *Ressourcenstrategische Betrachtung der Kritikalität von Phosphor*, Aachen: Shaker Verlag.
  - Helbig, C., Wietschel, L., Thorenz, A., Tuma, A. (2016): How to evaluate raw material vulnerability – an overview, *Resources Policy* 48, S. 13-24.
  - Held, M., Reller, A. (2016): Die stofflichen Voraussetzungen der Energiewende in der Großen Transformation, in: Exner, A., Held, M., Kümmerer, K. (Hg.): *Kritische Metalle in der Großen Transformation*, Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, S. 109-137.
  - Dießenbacher, J., Reller, A. (2016): Das „Fairphone“ – ein Impuls in Richtung nachhaltige Elektronik?, in: Exner, A., Held, M., Kümmerer, K. (Hg.): *Kritische Rohstoffe in der Großen Transformation: Metalle*, Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, S. 269-292.
  - Rommel, S. M., Krach, A., Peter, P., Weihrich, R. (2016): Conversion reactions of solids: from a surprising 3-step mechanism towards directed product formation, *Chemistry - A European Journal* 22 (18), S. 6333-6339.
  - Pfister, D., Schäfer, K., Ott, C., Gerke, B., Pöttgen, R., Janka, O., Baumgartner, M., Efimova, A., Hohmann, A., Schmidt, P., Venkatachalam, S., van Wüllen, L., Schürmann, U., Kienle, L., Duppel, V., Parzinger, E., Miller, B., Becker, J., Holleitner, A., Weihrich, R., Nilges, T. (2016): Inorganic double helices in semiconducting SnIP, *Advanced Materials*, doi:10.1002/adma.201603135.

# Seltene Erden in Elektroaltgeräten

## PROJEKTLEITUNG

- Dr. Volker Zepf  
volker.zepf@wzu.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 3026

## PROJEKTPARTNER

- Graduiertenkolleg „Ressourcenstrategische Konzepte für zukunftsfähige Energiesysteme“
- Technikerschule Augsburg (TA)
- bifa Umweltinstitut GmbH (bifa)

## FÖRDERUNG

- Bayerisches Staatsministerium für Bildung und Kultus, Wissenschaft und Kunst

## LAUFZEIT

- Januar 2016 - Oktober 2016

## Worum geht es?

Die Seltenen Erd-Elemente (SEE) gelten weiterhin als kritische Rohstoffe, einerseits wegen des theoretisch möglichen Versorgungsrisikos – nach wie vor hat China das Produktionsmonopol –, andererseits wegen der wirtschaftlichen Bedeutung einzelner Seltenen Erden für die sogenannten grünen Technologien wie LED-Beleuchtungen oder elektrische Antriebe. Somit ist eine Kreislaufführung der Seltenen Erden mit einem Recycling der End-of-Life-Produkte grundsätzlich sinnvoll. Während es mehrere Forschungsprojekte in Deutschland und Europa zu den spezifischen Recycling- bzw. metallurgischen Prozessen gibt, ist die Frage nach dem Eingangsmaterial für ein eventuelles Recycling immer noch unklar. Im Rahmen der hier vorgestellten Forschungsaktivitäten, die an die Dissertation von Zepf (2013) anknüpfen, wird versucht, Produkte zu identifizieren, die namhafte Mengen an Seltenen Erden enthalten, die für ein Recycling bereitgestellt werden können.

## Zielsetzung und Methoden

Die Zielsetzung ist es, Produkte zu finden, die das Seltenerdelement Neodym enthalten. Die identifizierten Produkte sollen auf ihren Gehalt an Neodym sowie die Zerlegbarkeit untersucht und bewertet werden. Die methodische Vorgehensweise beginnt mit der Identifizierung von potentiellen Produktgruppen bzw. Produkten auf Basis einer klassischen Literaturrecherche. Das führt in der Regel aber nicht zu aussagekräftigen Daten über Qualität und Quantität der enthaltenen Seltenen Erden bzw. des Gehalts an Neodym. Folglich wird versucht, eine Auswahl an Altgeräten zu beschaffen, diese zu zer-

# Seltene Erden in Elektroaltgeräten

legen und die entsprechenden Bauteile auf den Gehalt an SEE mit einer energiedispersiven Röntgenspektroskopie (EDX) zu analysieren. Dieser bottom-up Ansatz stellt jedoch nur eine kleine Stichprobe dar, da die Produktvielfalt und die vielen unterschiedlichen Baureihen es im Prinzip unmöglich machen, jedes der unterschiedlichen Modelle zu untersuchen. Als Beispiel hat allein die Samsung Galaxy-Smartphone-Reihe 17 unterschiedliche Bautypen (S7, S7edge, S6, S6edge+, S5neo, S5mini etc.).

## Durchführung und Ergebnisse

In 2016 gab es zwei Schwerpunkte bei der Produktsuche. Im Rahmen der schon 2015 begonnenen Kooperation mit der Technikerschule Augsburg haben fünf Schüler in ihren Abschlussarbeiten mehrere Produktgruppen untersucht und dabei – wenn auch nur wenige – Neodym-Magnete gefunden. Ein zweiter Ansatz wurde im Rahmen einer Studie als Unterauftrag des bifa durchgeführt. Die Studie hatte als primäres Ziel die Bewertung der Gehalte von Lithium-Ionen-Batterien in Elektroaltgerätesammlungen mittels Depotcontainer-Sammelsystemen. Hier wurden deutschlandweit ca. 80 m<sup>3</sup> Elektroaltgeräte händisch sortiert und analysiert. Die Hoffnung war es, in diesen Sammlungen relevante Mengen von Produkten zu finden, die für ein spezifisches Seltenerd-Recycling verfügbar gemacht werden können.

Im Rahmen der Abschlussarbeiten wurden folgende Produkte untersucht: Waschmaschinen, Industrie-Elektromotoren wie Servoantriebe, Gebläsemotoren, Radialventilatoren sowie Vakuummotoren, elektrische Hilfssysteme in PKWs wie Anlasser, Lichtmaschine und



*Manuelle Sortierung von Elektroaltgeräten im Technikum des bifa Umweltinstituts*

Scheibenwischermotoren, Haushaltsgeräte wie z.B. ein Mikrowellenmotor sowie ein Messerblock und Magnetverschlüsse von IKEA-Schränken. Die Euphorie war groß, hier mögliche Recyclingpotentiale zu entdecken, doch die meisten der untersuchten Produkte enthielten Dauermagnete vom Typ Ferrit mit typischen Anteilen von ca. 89 % Eisen, 10 % Strontium und teilweise wenigen Prozent Barium. Unter diesen Geräten waren auch die PKW-Systeme, die durchweg Ferrite enthielten. Natürlich war diese Untersuchung nur die Stichprobe eines einzigen PKW-Typs, induktive Schlüsse daraus abzuleiten ist problematisch. Dennoch ergibt sich aus dieser Analyse, dass die oft zitierte Aussage, dass alle PKW-Hilfsmotoren mit Dauermagneten auf Seltenerd-Basis ausgestattet sind,

## Seltene Erden in Elektroaltgeräten

falsch ist. Erstaunliches brachte die Analyse der Magnete des Messerblocks und der Schrankmagnete hervor: diese waren typische Neodym-Eisen-Bor (NdFeB) Dauermagnete. Insgesamt aber zeigte sich, dass in vielen Produkten Ferrite, jedoch keine Seltenerd-Magnete enthalten sind. Für die wenigen identifizierten Neodym-haltigen Produkte ist die Bewertung für eine ökonomische Kreislaufführung nach dem Ende der Nutzungs- bzw. Lebensphase schwierig. Es gibt in der Regel keine detaillierten Zahlen über die Menge der verkauften Geräte auf Modellebene. Ebenso mangelt es an Kenntnissen über die typischen Nutzungsdauern und den Verbleib der Geräte nach der Nutzung, etwa ob die Geräte mit dem Restmüll oder korrekt als Elektroaltgeräte entsorgt werden.

Im Rahmen der Studie mit dem bifa wurden weitere Produktgruppen aus dem Abfallstrom entnommen und untersucht: darunter elektrische Zahnbürsten, Rasierapparate, elektrisches Spielzeug und Akku-Werkzeuge. Auch hier zeigte sich keine einheitliche Materialzusammensetzung. Es gibt sowohl elektrische Zahnbürsten, in denen NdFeB-Magnete verbaut sind, als auch solche, die Ferrite enthalten. Möglicherweise gilt hier, dass Zahnbürsten mit Nickelmetallhydrid-Akkus bzw. Nickel-Cadmium-Akkus Ferrit-Magnete enthalten, während Zahnbürsten mit Lithium-Ionen-Akkus NdFeB-Magnete nutzen. Hier stehen noch weitere Forschungen aus. Bei Rasierapparaten, Spielzeug und Akkuwerkzeugen wurden bislang nur Ferrite identifiziert. Hier zeigt jedoch die Literaturrecherche, dass neuere Akkuwerkzeuge damit beworben werden, dass sie starke Neodymmagnete enthalten. Solche Geräte standen jedoch nicht für eine Analyse zur Verfügung.



*Aussortierte Fraktion Haushalts- und Spielgeräte*

Die Magnetuntersuchungen der vielen untersuchten Produkte und Produktgruppen lassen also keine pauschale Aussage zu, dass bestimmte Produktgruppen immer Neodym-basierte Magnete enthalten. Eindeutige Zuordnungen scheinen erst auf Basis der Modellreihe zulässig zu sein. Das bedeutet für eine mögliche Sammlung jedoch einen erheblichen Aufwand bei der Vorsortierung und später bei der Zerlegung der Produkte für ein mögliches Recycling.

Bislang gibt es in Deutschland und Europa kein Recycling von alten NdFeB-Magneten, auch wenn Verfahren und Prozesse nachgewiesen und im Labormaßstab erprobt wurden. Gegenwärtig sind die Preise für durchweg alle Seltenen Erden auf einem Tiefpunkt angelangt (DERA/BGR 2016), bei dem schon die Primärproduktion

## Seltene Erden in Elektroaltgeräten

kaum noch Margen aufweist. Ein Recycling, das erst noch aufgebaut werden muss, scheint auf absehbare Zeit ökonomisch unrentabel zu sein.

Dennoch zeigt der Vergleich der Primärproduktion von Neodym bzw. der jährlich produzierten Menge von NdFeB-Magneten mit den bislang untersuchten Anwendungsgruppen (Windenergie, Smartphones, Elektromobilität, Computerfestplatten, Haushaltselektrogeräte und diverse Lifestyleprodukte), dass der Verbleib von mehr als 50 % der Jahresproduktion von Neodym unbekannt ist. Folglich soll die Forschung weiter geführt werden, um diejenigen Produkte zu identifizieren, die nennenswerte Mengen an SEE enthalten. Mit dieser Kenntnis kann wahrscheinlich eine kritische Masse an Produkten bestimmt werden, mit der sich ein Recycling von Seltenen Erden, allen voran Neodym, ökonomisch lohnt. Aus ökologischer Sicht ist die Sekundärproduktion der Primärproduktion weit überlegen (Yang et al. 2016), so dass auch aus diesem Grund die Anstrengungen für die praktische Umsetzung eines Seltenerd-Recyclings weiter geführt werden soll(t)en.

## Literatur

- Yang, Y., Walton, A., Sheridan, R., Güth, K., Gauß, R., Gutfleisch, O., Buchert, M., Steenari, B.-M., Van Gerwen, T., Jones, P. J., Binnemans, K. (2016): REE Recovery from End-of-Life NdFeB Permanent Magnet Scrap: A Critical Review, in: *J. Sustain. Metall.*, doi: 10.1007/s40831-016-0090-4.
- DERA/BGR (2016): *Preismonitor August 2016. Rohstoffpreise*, [https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min\\_rohstoffe/Produkte/Preisliste/cpl\\_16\\_08.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Produkte/Preisliste/cpl_16_08.pdf?__blob=publicationFile&v=2).
- Zepf, V. (2013): *Rare Earth Elements. A New Approach to the Nexus of Supply, Demand and Use; Exemplified along the Use of Neodymium in Permanent Magnets*, Awarded and published by *Springer Theses. Recognizing Outstanding Ph.D. Research*.

# KosmEthik

## PROJEKTTEAM

- M. A. Ariane Lubberger  
ariane.lubberger@wzu.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 3575
- Prof. Dr. Armin Reller  
armin.reller@wzu.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 3000

## LAUFZEIT

- Januar 2014 – April 2017

## Worum geht es?

Nanopartikel in Sonnencreme, Silikonpflaster, Naturkosmetik und silikonfreien Shampoos – der Kosmetikmarkt bietet eine unüberschaubare Produktpalette, die einerseits Individualität und bewussten Konsum ermöglicht, andererseits Unsicherheit und Widersprüche fördert. Die Komplexität im Umgang mit Stoffen und ihren Funktionen wird am Einsatz von Silikonen und Titandioxiden in der Kosmetik deutlich. Mit Silikonen beispielsweise können offene Wunden optimal versorgt werden, während sie sich als Bestandteil von Haarpflegemitteln auf dem Kopfhaut anreichern und es belasten können. Gerade im Bereich der Kosmetik treffen zahlreiche Aspekte der Ressourcennutzung aufeinander. So werden in kosmetischen Produkten viele verschiedene Rohstoffe in kleinsten Mengen verwendet, die nach der Nutzung über Abwasser, Umweltmedien und Abschminkhilfen vollständig verloren gehen. Oftmals sind die gesundheitliche Unbedenklichkeit dieser Stoffe und die Unschädlichkeit

für die Umwelt nicht eindeutig geklärt. Auch sind diese Stoffe nicht immer Massenware, d.h. es kommen unter Umständen schwer verfügbare Rohstoffe in kosmetischen Anwendungen zum Einsatz, wie z.B. Kaviar, Platin oder Gold in Pflegeprodukten namenhafter Hersteller. Hinzu kommt in Bezug auf die Kosmetik die Frage nach der Notwendigkeit: Rechtfertigt das Bedürfnis nach glänzendem Haar, faltenfreier Haut und duftendem Hals den Eingriff in die Stoffkreisläufe der Erde?

## Zielsetzung und Methoden

Um den richtigen Umgang mit Ressourcen zu finden, bieten verschiedene Disziplinen und gesellschaftliche Akteure zahlreiche Konzepte, die diesen Umgang nach unterschiedlichen Kriterien beurteilen. Bekannte Schlagworte in diesem Zusammenhang sind die „Nachhaltigkeit“ oder auch die „Zukunftsfähigkeit“. Für ein allgemeingültiges Konzept reichen disziplinäre Ansätze und Neologismen jedoch nicht aus. Der richtige Umgang mit Ressourcen muss mit jenen Grundsätzen vereinbar sein, die der Einzelne für ein richtiges und gutes Leben heranzieht. Das bedeutet, Ressourcen müssen auf jeden Fall für die Deckung von Grundbedürfnissen zur Verfügung stehen und darüber hinaus eine freie Entfaltung der individuellen Persönlichkeit und Lebensvorstellung auch innerhalb einer Gesellschaft ermöglichen. Diese Grundsätze finden sich in der ethischen Diskussion, die in ihren Kernfragen auf den Umgang mit Ressourcen hin geöffnet und übertragen werden muss. Ethische und moralische Kriterien regeln nicht nur die Interaktion mit der menschlichen, sondern auch mit der nicht-menschlichen Umwelt und können daher in keinem Bereich des Lebens außer Acht gelassen werden.



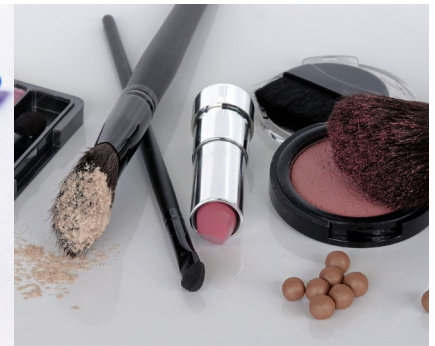
# KosmEthik

Wenn der Mensch nach dem guten Leben strebt, dann muss er sich auch im Umgang mit Ressourcen fragen, ob ihre Nutzung dem guten Leben tatsächlich zuträglich ist. Hierfür genügt der kurzsichtige Blick auf das unmittelbare eigene Empfinden jedoch nicht, sondern es muss das Erdsystem als Grundvoraussetzung für Leben an sich genauso beachtet werden wie die Bedürfnisse anderer Lebensformen. Was es für den Umgang mit Ressourcen bedeutet, die ethischen Grundsätze des alltäglichen Miteinanders auf diesen Bereich zu übertragen, soll anhand der Fallbeispiele Silikon und Titandioxid in der Kosmetik betrachtet werden.

## Durchführung und Ergebnisse

Titandioxid – die Verbindung von Titan und Sauerstoff – findet in der Kosmetik zum einen als Sonnenschutz, zum anderen als Weißpigment Einsatz. Dabei ist die Produkt-

palette nahezu unerschöpflich: Sonnencreme, Zahnpasta, Shampoo, Make-up, Nagellack oder Wundsalbe, sie alle können Titandioxid enthalten. Sein vielfältiger Einsatz hängt vor allem mit seiner guten Verfügbarkeit, seiner chemischen Reaktionsträgheit, seiner gesundheitlichen und ökologischen Unbedenklichkeit und dem Mangel an vergleichbaren Allround-Substituten zusammen (Winkler 2013). Der Einsatz von Titandioxid in der Kosmetik bietet auf den ersten Blick keinerlei Konfliktpotential. Dennoch ist es wichtig, die Verwendung von Titandioxid in der Kosmetik zu hinterfragen, denn einerseits ist die Ressource nicht unendlich verfügbar, andererseits kann ein Umgang mit Ressourcen nur in dem Moment tatsächlich gut sein, wenn er auch zu einem guten Leben beiträgt. Hierfür muss die Funktion, die Titandioxid im einzelnen Produkt erfüllt, näher betrachtet werden. Dient es als Schutz vor gefährlicher UV-Strahlung und damit verbundenen, schweren Erkrankungen, lässt sich



*Titandioxid findet sich, dank seiner gesundheitlichen Unbedenklichkeit, in unzähligen kosmetischen Anwendungen. Unter anderem als Glanz-Effekt-Pigment in Nagellacken, als Weißpigment in Zahnpasta oder zur Erhöhung der Deckkraft in Make-up und Puder.*

# KosmEthik

sein Einsatz gewichtiger begründen, als wenn es lediglich die Farbe einer Zahnpasta optisch ansprechender macht, ohne eine Wirkung auf die Anwendung selbst zu entfalten. Zum anderen müssen die Auswirkungen der Titandioxidnutzung auf die menschliche und nicht-menschliche Umwelt bedacht werden. In kleinen Mengen in einer Vielzahl von Produkten eingesetzt, verteilt sich Titandioxid unkontrolliert über den gesamten Planeten. Selbst wenn es beim Eintrag in verschiedene Ökosysteme nicht zu ungewollten Schadwirkungen zu kommen scheint, so geht der Rohstoff für die menschliche Nutzung unwiederbringlich verloren. Wo er vorher gebündelt in Lagerstätten zu finden war, ist er nun über die Erde verstreut. Für die alltägliche Praxis bedeuten diese Überlegungen, dass beim Einsatz von Titandioxid als reinem Farbpigment gesamtgesellschaftlich die negativen Auswirkungen die positiven überwiegen. In Summe kann es nicht erstrebenswert sein, eine Ressource für eine für das gute Leben verzichtbare Funktion (strahlendes Weiß einer Creme) zu verschwenden.

Ganz anders sieht es aus, wenn die Funktion des Titandioxids für das gute Leben eben nicht verzichtbar ist, also in dem Moment, wo das Titandioxid beispielsweise vor schädlicher UV-Strahlung schützt. Hier würde der akute Erhalt der Gesundheit die zukünftig erschwerte Verfügbarkeit des Titandioxids überwiegen.

Auch die Funktionen, die Silikone in der Kosmetik erfüllen, tragen nur in bestimmten Fällen zu einem guten Leben bei. In Haar- und Hautpflegeprodukten sorgen Silikone für Geschmeidigkeit und Glanz, aber auch für eine angenehme Konsistenz und Haptik der Mittel. Gerade in Shampoos stehen Silikone mittlerweile sinnbildlich für



*In Sonnencremes blockt Titandioxid gefährliche UV-Strahlung und schützt so vor Sonnenbrand. Silikon sorgt in solchen Cremes beispielsweise für die leichte Verteilbarkeit und eine gleichbleibende Konsistenz.*

den bloßen Anschein von gesundem, glänzendem Haar, denn sie bilden eine Schicht um jede einzelne Strähne und lassen sie schimmernd und glatt erscheinen. Allerdings nutzt sich diese Schicht relativ zügig wieder ab und offenbart, dass Silikone nahezu keinerlei pflegende Wirkung haben, sondern sich auf den Haaren anreichern können und sie so strähnig und „platt“ erscheinen lassen. Auch in Bezug auf die Anwendungseigenschaften eines kosmetischen Produkts kann nicht von Grundbedürfnissen gesprochen werden. Abgesehen also von eher medizinischen Anwendungen in der Wundpflege, trägt Silikon in der Kosmetik kaum zu einem guten Leben bei. In einer ethischen Abwägung der Nutzung von Silikon in der Kosmetik müssen neben ihrem Beitrag für ein potentiell gutes Leben aber auch die Auswirkungen auf die Umwelt bedacht werden. Ähnlich wie bei Titandioxid

# KosmEthik

scheinen Silikone dabei relativ risikofrei zu sein. Aus ethischer Sicht gibt es aber Argumente, die den Einsatz von Silikonen in der Kosmetik kritisch erscheinen lassen. Denn Silikone sind eine vollkommen künstliche Stoffgruppe. Die natürliche Umwelt bietet keinerlei Vorbild für diese Verbindungen. Die Stoffgeschichte „Silikon“ findet vom Ursprung des Stoffes bis zum Ende der Nutzung in der Anthroposphäre statt (Reller et al. 2000). Der Mensch hat den Stoff geschaffen, entsorgt ihn aber nach der Nutzung in die Umwelt, wo er bislang nicht vorkam. Wie sich Silikone in der Umwelt langfristig verhalten und welche Auswirkungen ihr Erscheinen in der Natur haben könnte, ist unklar. Der Mensch tritt im Falle von Silikon als Schöpfer aber auch Verantwortlicher in Erscheinung und bietet damit eines der Paradebeispiele für die Thesen der Anthropozändebatte (Crutzen & Stoermer 2000): Hat der Mensch grundsätzlich das Recht, das Erdsystem in globalem Maßstab und eventuell irreversibel zu beeinflussen? Wie steht es dann um seine Verantwortung für die Erde als Ganzes, aber auch einzelne Teile und Lebensformen? Und: Kann allein der Wunsch nach geschmeidigem Haar und schimmernder Bodylotion diese Entwicklungen rechtfertigen?

## Ausblick

Es lässt sich keine Pauschalantwort auf die Frage, wie ein guter Umgang mit Ressourcen aussehen soll, geben. Allerdings lassen sich konkrete Kriterien benennen, anhand derer sich zumindest überprüfen lässt, ob der Umgang potentiell gut ist. Diese Fragen muss sich jeder einzelne Akteur entlang der Stoffgeschichte stellen und individuell beantworten. Wo für den einen gutes Ausse-

hen und Wohlbefinden den Einsatz jeglicher Ressourcen rechtfertigen, erscheint Kosmetik für den anderen als Inbegriff der Verschwendung und Nutzlosigkeit. Die realen gesellschaftlichen Auswirkungen der individuellen Ressourcennutzung müssen jedoch in jedem Fall gegen den eigenen Entwurf des guten Lebens abgewogen werden. Eine wichtige Erkenntnis über alle disziplinären Kontexte hinaus ist daher die faktische Verantwortung und praktische Einflussmöglichkeit jedes einzelnen Menschen auf den Umgang mit Ressourcen. Orientierung können ethische Leitfragen geben, die sich als Grundlage und vor allem als Erinnerung an die Relevanz einer Abwägung heranziehen lassen.

## Literatur

- Crutzen, P., Stoermer, E. (2000): The „Anthropocene“, *Global Change Newsletter. The International Geosphere–Biosphere Programme (IGBP)* 41, S. 17-18.
- Reller, A., Braungart, M., Soth, J., von Uexküll, O. (2000): Silicone – eine vollsynthetische Materialklasse macht Geschichte(n), *Gaia* 9 (1), S. 13-24.
- Winkler, J. (2013): *Titandioxid. Produktion, Eigenschaften und effektiver Einsatz*, Hannover: Vincentz.

# ForCycle – Zukunftssichernde Nutzung von Wertstoffen

## PROJEKTTEAM

- Prof. Dr. Armin Reller  
armin.reller@wzu.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 3000
- Dr. Julia Fendt  
julia.fendt@wzu.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 3558
- Christian Böckenholt  
christian.boeckenholt@wzu.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 3563
- PD Dr. Jens Soentgen  
soentgen@wzu.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 3560

## PROJEKTPARTNER

- Prof. Dr. Soraya Heuss-Aßbichler, LMU München
- Prof. Dr. Siegfried Horn, Universität Augsburg in Kooperation mit Prof. Dr. Klaus Drechsler, Fraunhofer Projektgruppe FIL, Augsburg
- Prof. Dr. Burkhard König, Universität Regensburg
- Prof. Dr. Werner Kunz, Universität Regensburg in Kooperation mit Prof. Dr. Cordt Zollfrank, TU München und Wissenschaftszentrum Straubing für Nachwachsende Rohstoffe
- Dr. Martin Schlummer, Fraunhofer IVV, Freising
- Prof. Dr. Ulrich Teipel, TH Nürnberg in Kooperation mit dem Fraunhofer ICT, Pfinztal
- Prof. Dr. Monika Willert-Porada, Universität Bayreuth
- Prof. Dr. Rainer Buchholz, FAU Erlangen-Nürnberg in Kooperation mit Prof. Dr. Thomas Brück, TU München

## FÖRDERUNG

- Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (StMUV)

## LAUFZEIT

- Januar 2014 bis August 2017

## Worum geht es?

Unser gegenwärtiger Lebensstil ist durch die nahezu uneingeschränkte Verfügbarkeit von Konsumgütern aller Art geprägt. Dass in diesen Gütern Rohstoffe und Ressourcen stecken, die in globale, vernetzte Wertschöpfungsketten eingebunden sind, ist den meisten von uns nicht bewusst. Ebenso wenig machen wir uns Gedanken darüber, was nach der Nutzung des Konsumgutes mit den verwendeten Stoffen geschieht. Diese sind nicht – wie die landläufige Meinung suggeriert – Abfall, sondern beinhalten komplexe Wertstoffe, deren Rückgewinnung ein lohnender Vorgang ist, um die Ressourcen der Erde für die weitere Nutzung zu erhalten. Die in Bayern hergestellten Produkte basieren auf einer Vielzahl von Funktionsmaterialien und spiegeln den globalen Trend der Technisierung der Welt wider.

Im Projektverbund ForCycle, gefördert vom Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz, werden deshalb im Rahmen von insgesamt zehn Projekten effiziente Recyclingverfahren von Sekundärrohstoffen untersucht. Ziel der Projekte ist es, auf neuen Wegen eine effiziente Nutzung essentieller Rohstoffe zu erreichen und sie als Sekundärrohstoffe im Stoffkreislauf

# ForCycle – Zukunftssichernde Nutzung von Wertstoffen

zu erhalten. Thematisch fokussieren die Einzelprojekte auf die Rückgewinnung von Metallen aus Abwässern mit umweltschonenden, ungiftigen Verfahren, die Herauslösung von Schwermetallen aus Altglas, das Recycling von bspw. im Flugzeugbau oder bei Windkraftanlagen eingesetzten Carbonfasern, die Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen wie Cellulose oder Chitin zur Herstellung von Gütern sowie auf die Wiederverwertung von Baustoffen.



Quelle: Projektverbund ForCycle, Universität Augsburg

## Durchführung und Ergebnisse

Ein übergreifendes Ziel des Verbundes ForCycle – Rohstoffwende Bayern – ist die Erstellung einer Strategie für eine zukunftsfähige Nutzung von Ressourcen in Bayern. Hierfür sind umfangreiche Forschungsarbeiten notwendig.

Nach dem erfolgreichen Zwischensymposium Ende November 2015 in der Bayerischen Akademie der Wissenschaften in München mit gut 140 Experten aus Wirtschaft, Politik und Wissenschaft wurde eine positive Zwischenbilanz der zehn Projekte des Verbundes gezogen. Neben einer Posterausstellung wurde der Verbund durch 10 Kurzfilme präsentiert (abrufbar unter <http://www.forcycle.de/Videos>).

Die Netzwerk- und Öffentlichkeitsarbeit wurde durch die Teilnahme an verschiedenen Veranstaltungen, wie dem Symposium „Rohstoffeffizienz und Rohstoffinnovationen“ im Februar 2016 in der evangelischen Akademie Tutzing, dem Nachwuchsforscherkongress „24 Stunden für Ressourceneffizienz“ in Pforzheim, der Re-source 2016 in München und der EUREK (1. Europäische Ressourcenkonferenz) im Rahmen der IFAT (Weltleitmesse für Wasser-, Abwasser-, Abfall- und Rohstoffwirtschaft) ebenso in München gestärkt.

Beim Cluster-Bilanz-Workshop im Frühjahr 2016 wurden die Planungen für das laufende Jahr und der aktuelle Stand der Projekte vorgestellt sowie die Clusterarbeit intensiviert.

Ein besonderes Highlight bot die Teilnahme bei der fünften „Woche der Umwelt“ im Schloss Bellevue in Berlin,



# ForCycle – Zukunftssichernde Nutzung von Wertstoffen

zu der Bundespräsident Joachim Gauck gemeinsam mit der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) im Juni 2016 einlud. Im Rahmen des Fachforums „Ressourcen“, organisiert vom Umweltnetzwerk KUMAS, trugen Armin Reller und Christian Böckenholt in zwei Fachvorträgen zum Thema „Zukunftsweisender Umgang mit Ressourcen“ vor.

Für die Doktoranden des Verbundes bot sich im Rahmen eines Doktorandenworkshops im Juli 2016 in Beilngries die Gelegenheit zur Vernetzung und universitäts- und clusterübergreifendem Austausch.

## Perspektiven

Zu den wesentlichen Zielsetzungen von ForCycle gehört neben der Erforschung der Stoffgruppen der Metalle, biogenen Polymere und Wertstoffe, Komposite und Baustoffe auch die Erweiterung der ressourcenstrategischen Forschung um das Themenfeld „Bildung und Bewusstsein“ für Ressourcenschutz. Die Öffentlichkeitsarbeit und die Aufarbeitung ressourcenstrategischer Themen, auch für die Erwachsenenbildung, werden deshalb weiter gestärkt.

Die inhaltlichen Forschungsergebnisse der Projekte aus den vier Clustern werden in einem Abschlussbericht zusammengefasst und an der Abschlussveranstaltung für den Verbund am 16. Februar 2017 an der Universität Augsburg präsentiert.

## Literatur

- Achzet, B., Reller, A., Zepf, V. (2015): Strategic Resources for Emerging Technologies, in: Hartard, S., Liebert, W. (Hg.) *Competition and Conflicts on Resource Use*, Cham: Springer, S. 259–272.
- Held, M., Reller, A. (2016): Die stofflichen Voraussetzungen der Energiewende in der Großen Transformation, in: Exner, A., Held, M., Kümmerer, K. (Hg.): *Kritische Metalle in der Großen Transformation*, Berlin: Springer-Verlag, S. 109–135.
- Reller, A., Böckenholt, C., Fendt, J. (2016): Ansatz einer zukunftsweisenden Ressourcennutzung in Bayern – der Projektverbund ForCycle, in: Teipel, U., Reller, A. (Hg.): *4. Symposium Rohstoffeffizienz und Rohstoffinnovationen. 17./18. Februar 2016, Evangelische Akademie Tutzing*, Stuttgart: Fraunhofer Verlag, S. 391–399.



# Streiflicht: Der Stickstoff und das Leben



Unter Umweltforschern gilt die Modifikation des Stickstoffkreislaufes durch den Menschen als eine der größten planetaren Herausforderungen neben dem Klimawandel und dem Verlust der Biodiversität. Doch was hat es damit auf sich?

Stickstoff ist der Motor allen biologischen Wachstums. Er ist unentbehrlich für alle Lebensfunktionen. Aber es gibt „zwei Sorten“ Stickstoff: Den nicht-reaktiven, den wir mit jedem Atemzug ein- und ausatmen, weil Luft zu 78% aus Stickstoff besteht. Alle anderen Formen von Stickstoff sind reaktiv und damit u.a. für Pflanzen verfügbar, wie beispielsweise Stickoxide, Ammoniak, Nitrate, Aminosäuren und Proteine. Reaktiver Stickstoff ist in der Natur knapp. Nur einige Bakterienarten beherrschen die Kunst, Luftstickstoff in reaktiven Stickstoff umzuwandeln.

Das Monopol der Bakterien wurde gebrochen: Seit dem 9. September 1913, also seit rund einhundert Jahren nutzt der Mensch ein von den Chemikern Fritz Haber und Carl

Bosch entwickeltes Verfahren, mit dem man in einem riesigen Reaktionsrohr Luftstickstoff in Ammoniak umwandelt. Ammoniak ist die wichtigste Form reaktiven Stickstoffs, aus ihm werden Kunstdünger, Kunststoffe und Sprengstoffe hergestellt. Jener 9. September 1913 hat das Gesicht unseres Planeten verändert. Oft wird das Haber-Bosch-Verfahren als bedeutendste Erfindung des 20. Jahrhunderts bezeichnet. Mit gutem Grund: Ohne den künstlichen Stickstoff aus der Haber-Bosch-Synthese könnte die Hälfte der Weltbevölkerung nicht ernährt werden. Etwa 40% des in Proteinen oder in der DNA verbauten Stickstoffs in unseren Körpern ist schon einmal durch die Röhren einer Haber-Bosch-Anlage gewandert. Unsere Ausstellung „Grüner Klee und Dynamit – Der Stickstoff und das Leben“ erzählt die Geschichte des Stickstoffs mit vielen einzigartigen Exponaten. Wir erläutern die biologische Bedeutung des Stickstoffs, seine ökologische Problematik, seine politische Relevanz. Mittelalterliche Ateliers des Alchemisten und des Salpeterers werden kontrastiert durch moderne Hochtechnologie. Sie zeigt die Aufgaben der Zukunft. Viele Hands-on-Exponate machen den Stoff und seine Geschichte begreifbar. Die Ausstellung wurde nach mehreren Stationen in Deutschland, in 2016 im Naturmuseum Solothurn in der Schweiz gezeigt. Realisiert wurde sie durch das Wissenschaftszentrum Umwelt der Universität Augsburg und das Carl Bosch Museum Heidelberg. Gefördert wurde sie durch die Klaus Tschira Stiftung und aus Mitteln der High-Tech-Offensive Zukunft Bayern.

Homepage: [www.stickstoffausstellung.de](http://www.stickstoffausstellung.de)  
Information: PD Dr. Jens Soentgen, WZU, Universität Augsburg, 0821 598 3560



## LOKALE UMWELTEN

- 55 Spuren(gas)suche auf Deutschlands höchstem Berg
- 66 Siedlungsmuster präkolonialer Kulturen im Amazonasgebiet
- 72 Die Uni-Heide und Vegetation des Campus

# Spuren(gas)suche auf Deutschlands höchstem Berg

## PROJEKTTEAM

- M. Sc. Esther Giemsa  
esther.giemsa@geo.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 2727
- Prof. Dr. Jucundus Jacobeit  
jucundus.jacobeit@geo.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 2662
- Dr. Ludwig Ries  
ludwig.ries@uba.de

## PROJEKTPARTNER

- Virtuelles Alpenobservatorium (VAO),  
Umweltforschungsstation Schneefernerhaus
- Umweltbundesamt (UBA), Global Atmosphere  
Watch (GAW) – Plattform Zugspitze
- Deutscher Wetterdienst (DWD),  
Radioaktivitätsüberwachung
- Leibniz Rechenzentrum (LRZ),  
Distributed Resources Group
- Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt (DLR),  
Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum (DFD) –  
Atmosphäre

## FÖRDERUNG

- Diese Forschungsarbeit ist Teil des Projekts  
„Virtuelles Alpenobservatorium (VAO): Ausbau  
und Internationalisierung des Virtuellen Alpenob-  
servatoriums (VAO II) an der Umweltforschungs-  
station Schneefernerhaus (UFS)“ und wird vom  
Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und  
Verbraucherschutz finanziert.

## PROJEKTLAUFZEIT

- Januar 2015 - Dezember 2016

## Worum geht es?

Das Klima unserer Erde wird von der Sonnenenergie gesteuert, die von der Erdoberfläche und der Atmosphäre absorbiert wird. Die Absorptionsrate der Sonnenstrahlung auf ihrem Weg zur Erdoberfläche und wieder zurück hängt maßgeblich von der atmosphärischen Konzentration und Zusammensetzung der klimawirksamen Spurengase ab. Durch anthropogene Emissionen werden diese derart verändert, dass sie den für das Leben auf der Erde notwendigen natürlichen Treibhauseffekt verstärken. Prominentester Vertreter der vom Menschen produzierten Treibhausgase ist das Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ). Als beitragsstärkstes Klimagas ist es der Hauptverursacher der globalen Erwärmung, die seit Beginn der Industrialisierung ab dem Jahr 1750 den natürlichen Treibhauseffekt intensiviert.

Im vergangenen Jahr wurde auf Deutschlands höchstem Gipfel ein Rekord verzeichnet: Das Jahresmittel des atmosphärischen Kohlendioxidgehalts überschritt erstmals die Marke von 400 ppm (parts per million = Volumenanteile pro Million). Zum Vergleich: Das  $\text{CO}_2$ -Niveau vorindustrieller Zeit lag bei etwa 280 ppm und war in den vorangegangenen 10.000 Jahren annähernd konstant. Im März 2015 erreichte der Monatsdurchschnitt auf der Zugspitze sogar über 405 ppm. Diese Jahreshöchstwerte werden typischerweise im Frühjahr gemessen, da kurz vor dem Einsetzen der nordhemisphärischen Pflanzenwachstumsphase die Assimilation des Kohlendioxids

## Spuren(gas)suche auf Deutschlands höchstem Berg

noch gering ist. In der anschließenden Jahreshälfte dominierender Photosynthese wird im August das  $\text{CO}_2$ -Jahresminimum erreicht. Überprägt wird der Kohlenstoffkreislauf der Biosphäre von dem weltweit ansteigenden  $\text{CO}_2$ -Trend, der zu erheblichen Teilen aus der Verbrennung fossiler Energieträger resultiert.

Rund 300 m unterhalb des Zugspitzgipfels auf der Südseite von Deutschlands höchstem Berg befindet sich die Umweltforschungsstation Schneefernerhaus, deren langjährige  $\text{CO}_2$ -Messzeitreihe seit dem Jahr 2002 (und zuvor seit 1981 direkt am Gipfel gemessen) diese Interferenz natürlicher und anthropogener Quellen und Senken aufzeigt (Abb. 1).

Das Zusammenspiel von Mensch und Biosphäre als Emittenten bzw. Absorber in Verbindung mit der langen atmosphärischen Verweilzeit des Kohlendioxids von durchschnittlich 120 Jahren verhindert, dass atmosphärische Messungen unmittelbar Auskunft über Änderungen der regionalen Emissionssituation geben können. Um aus den hochpräzisen  $\text{CO}_2$ -Messzeitreihen Größen klimapolitischer Dimension abzuleiten, auf deren Basis effiziente Emissionsminderungsmaßnahmen verifiziert und gegebenenfalls angepasst werden können, bedarf es daher einer differenzierten Aufschlüsselung der Messdaten nach ihrer Herkunft.

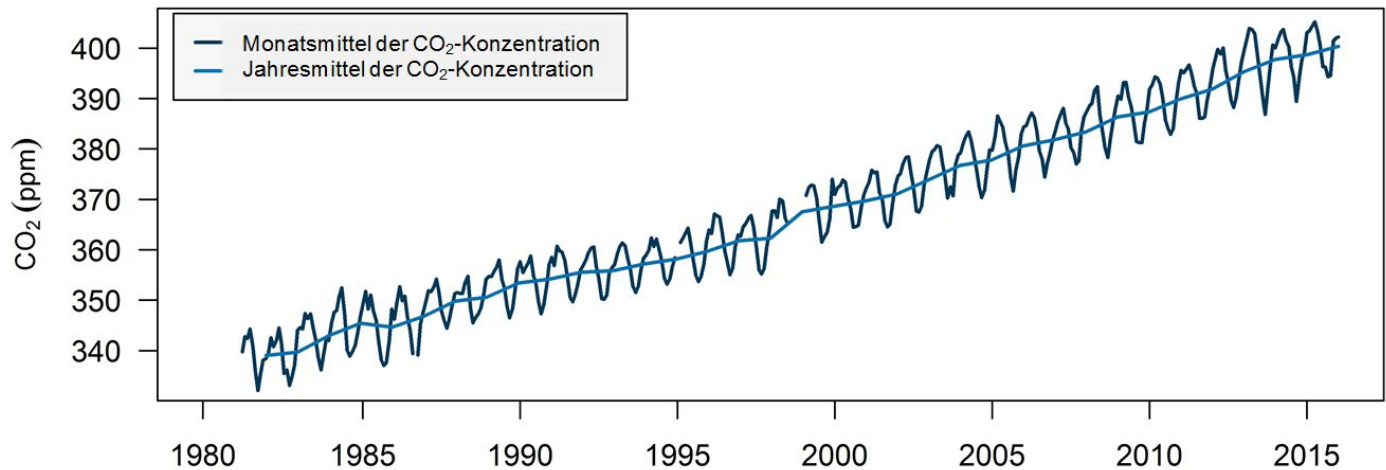


Abb. 1: Monats- und Jahresmittel der  $\text{CO}_2$ -Konzentration (ab dem Jahr 2002 an der Umweltforschungsstation Schneefernerhaus, zuvor am Zugspitzgipfel gemessen)

# Spuren(gas)suche auf Deutschlands höchstem Berg

## Datenfilterung zur Identifizierung der CO<sub>2</sub>-Hintergrundkonzentration

Obwohl die Umweltforschungsstation auf einer Höhe von 2.650 m fernab von Emissionsquellen liegt und als Mitglied des internationalen Atmosphärenbeobachtungsprogramms Global Atmosphere Watch (GAW) der UN-Weltmeteorologieorganisation (WMO) Luftschichten überregionaler Repräsentativität detektiert, befindet sie sich dennoch episodisch im Einflussbereich der planetaren Grenzschicht, die periodisch auch bodennahe Luftmassen beinhaltet. Aus diesem Grund sind die Messreihen zunächst einer zuverlässigen Datenfilterung zu unterziehen, die neben der Identifizierung von lokalen Kontaminationen eine Differenzierung der Messwerte nach den Kategorien ‚großräumige Hintergrundkonzentration‘ und ‚regionaler Ursprung‘ erlaubt.

Da die genaueste Filtermethode standortabhängig und daher für jede Messstation individuell auszuwählen ist (Kaiser et al. 2007, Ruckstuhl et al. 2012), wurde eine Vielzahl unterschiedlicher Filteransätze für den fünfjährigen Untersuchungszeitraum 2011 - 2015 auf die CO<sub>2</sub>-Messungen der GAW-Station Schneefernerhaus angepasst, darunter klassische meteorologische Filterverfahren, die beispielsweise Windgeschwindigkeiten als Proxy für kontaminierte Luftmassen nutzen (Fang et al. 2014/2015, Zellweger et al. 2003). Dabei werden CO<sub>2</sub>-Konzentrationen, die während Windgeschwindigkeiten von unter 1,0 m/s aufgezeichnet werden, als lokal bzw. regional beeinflusst deklariert. Der Grenzwert leitet sich von der deutlichen Abnahme der Standardabweichung der CO<sub>2</sub>-Messwerte für Windgeschwindigkeiten von über 1,0 m/s ab.

Eine ebenfalls weit verbreitete Methodik der Datenfilterung basiert auf dem Tagesgang der solaren Einstrahlung, durch den kontaminierte Luftmassen tageszeitlich schwankend an die Umweltforschungsstation herangeführt werden. Insbesondere die nächtlichen bis frühen Morgenstunden sind die am geringsten von allochthoner (fremdbürtiger) Witterung beeinflusste Tageszeit. Darauf basierend werden ausschließlich Messungen dieses Zeitfensters der Hintergrundkonzentration zugeordnet. Deutlich differenzierter im Hinblick auf die Herkunft der Luftmassen funktioniert der Filteransatz mittels Tracern. Als besonders präziser Tracer für bodennahe Luftschichten hat sich Radon in neueren Studien etabliert und ergänzt zu diesem Zweck nun vermehrt das Messgrößenspektrum an Standorten überregionaler Repräsentativität. Auch am GAW-Globalobservatorium Zugspitze/Schneefernerhaus betreiben der Deutsche Wetterdienst und das Umweltbundesamt gemeinsam Radonmessungen, um in den Messreihen atmosphärischer Klimagase zuverlässig Einflüsse nicht repräsentativer, bodennaher Luftmassen zu erkennen. Radon als natürlich vorkommendes Radionuklid besitzt beste Tracer-Eigenschaften für die Herkunftsanalyse von Luftmassen. Da der Uran/Radium-Zerfall kontinuierlich im Gestein der Erdkruste stattfindet, entweicht das Zerfallsprodukt Radon permanent der eisfreien Erdoberfläche. Als Edelgas fällt es keinen atmosphärisch-chemischen Umwandlungsprozessen oder anderen Senken zum Opfer, sondern erreicht seine relativ kurze Halbwertszeit von 3,8 Tagen ausschließlich durch radioaktiven Zerfall. Gegenüber der generell niedrigen troposphärischen Hintergrundkonzentration sind Variationen in den Radonwerten durch veränderte atmosphärische Transportbedingungen gut detektierbar.

## Spuren(gas)suche auf Deutschlands höchstem Berg

und ein direkter Anzeiger für terrestrisch beeinflusste Luftmassen (Chambers et al. 2016). Hohe Radon-Konzentrationen geben folglich einen Hinweis auf bodennahe Luftschichten, während niedrige Radonwerte von Luftmassen der freien Troposphäre zeugen.

Im Vergleich mit den CO<sub>2</sub>-Daten der marinen Grenzschicht der Atmosphäre der Nationalen Ozean- und Atmosphärenbehörde (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA), die als Referenzwerte unbeeinflusster Luftmassen für die Validierung der einzelnen Filtervarianten und schließlich die Identifikation des stationsspezifisch besten Filterprinzips herangezogen werden (Dlugokencky et al. 2015), erzielen die CO<sub>2</sub>-Hintergrundkonzentrationen des Radon-Filterverfahrens die stärkste Übereinstimmung mit Korrelationskoeffizienten der Monatsmittelwerte von über 0,95. Demzufolge können 43 % der Messwerte der Jahre 2011 - 2015 als repräsentativ für den großräumigen Hintergrund angesehen werden, während die restlichen 57 % regional beeinflusst sind. Die mittleren Tagesgänge vor und nach Anwendung der standortspezifisch besten Filtermethode mittels Radon zeigt Abbildung 2. Die charakteristisch verschobenen Tagesgänge aller CO<sub>2</sub>-Messwerte gegenüber den gefilterten unterstreichen zusammen mit den tagsüber in deutlich geringerer Anzahl auftretenden Hintergrundwerten die Funktionalität des Verfahrens.

Im Gegensatz zu den annähernd identischen Amplituden der CO<sub>2</sub>-Konzentrationen der atmosphärischen Grenzschicht und des nordhemisphärischen Hintergrunds im Tagesgang zeigen sich bei den gefilterten Monatsmittelwerten Unterschiede in den Amplituden (s. Abb. 3). Die im Jahresmittel um durchschnittlich zwei ppm größere

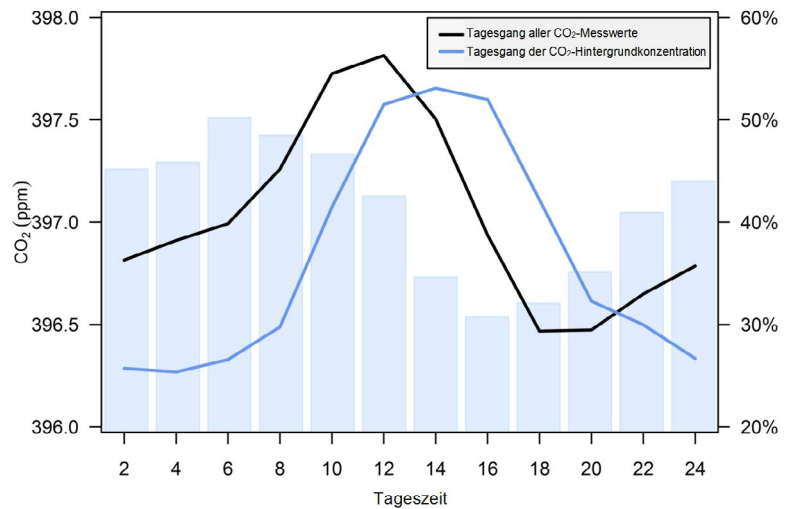


Abb. 2: Mittlerer Tagesgang der CO<sub>2</sub>-Messungen der Jahre 2011 - 2015 am Schneefernerhaus vor und nach der Radon-basierten Filterung. Die blauen Säulen geben den prozentualen Anteil der Hintergrundwerte zu jedem Zeitintervall an.

Amplitude der CO<sub>2</sub>-Konzentrationen regionalen Ursprungs kommt vor allem im Winter zustande, wenn der verstärkte Energiebedarf in der Heizperiode hohe CO<sub>2</sub>-Emissionswerte verursacht. Das saisonale Sommerminimum, bedingt durch die CO<sub>2</sub>-Assimilation der Vegetation, unterscheidet sich dagegen deutlich weniger von den Resultaten der Radon-Filterung, da zu dieser Jahreszeit der Energieverbrauch und somit die Emissionen geringer sind.



## Spuren(gas)suche auf Deutschlands höchstem Berg

Einen weiteren Hinweis auf die Verbrennung fossiler Energieträger als Hauptverursacher der stetig ansteigenden  $\text{CO}_2$ -Konzentrationen auch im Einzugsgebiet der GAW-Station Zugspitze geben die Wachstumsraten der nach ihrer (über-)regionalen Herkunft getrennten  $\text{CO}_2$ -Messwerte. Gemittelt über den knapp fünfjährigen Untersuchungszeitraum weisen Messungen grenzschichtbeeinflusster Luftmassen eine 6 % stärkere Wachstumsrate verglichen mit dem Trend der freien Troposphäre auf (s. gestrichelte Linien in Abb. 3).

Letzterer beläuft sich an Deutschlands höchstgelegener Messstation im Zeitraum 2011 - 2015 auf 1,86 ppm/Jahr, wohingegen die Kohlendioxidkonzentration regionaler Herkunft Jahr für Jahr im Mittel um 1,98 ppm zugenommen hat. Dieses Ergebnis, das exakt mit vergleichbaren Studien andernorts übereinstimmt (Tsutsumi et al. 2006), verdeutlicht einmal mehr, dass auch vor Ort Anstrengungen für Emissionsreduktionen zur Erreichung der Klimaschutzziele unerlässlich sind.

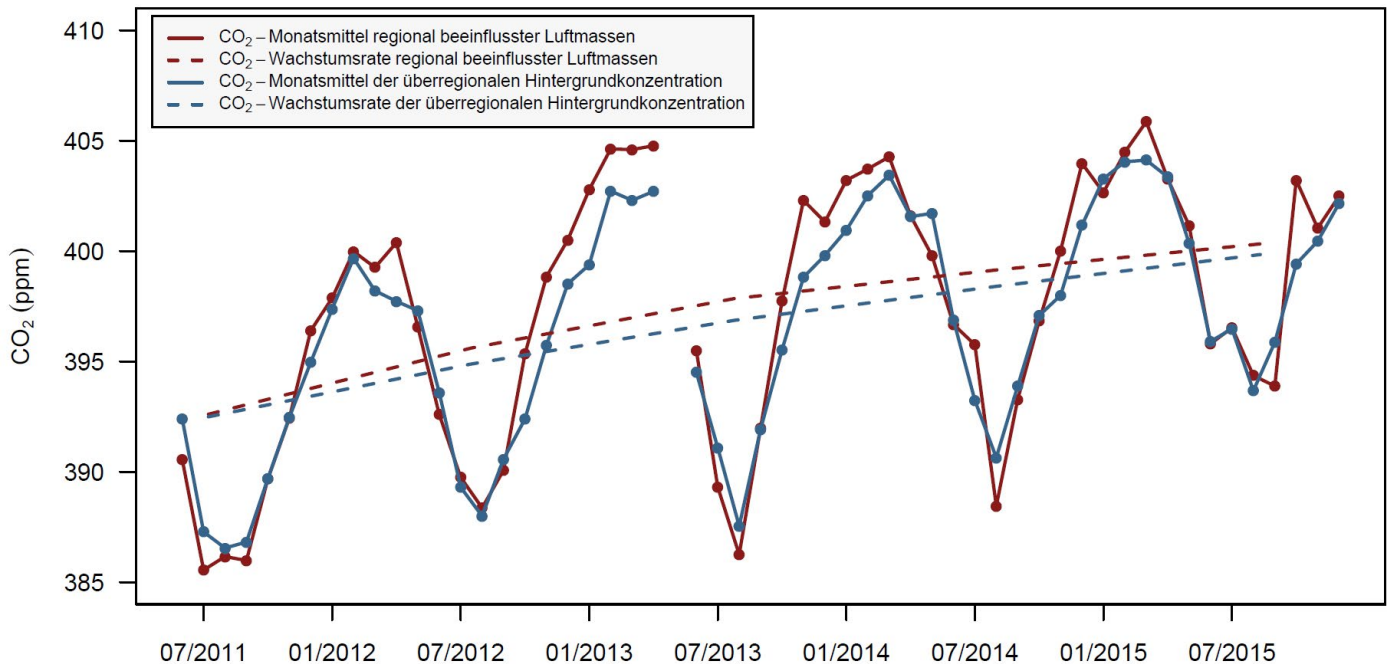


Abb. 3:  $\text{CO}_2$ -Monatsmittel und -Wachstumsraten regional (un-)beeinflusster Luftmassen am Schneefernerhaus von Juni 2011 - Dezember 2015

# Spuren(gas)suche auf Deutschlands höchstem Berg

## Herkunftsanalyse mittels Trajektoriencluster

Detaillierte Einblicke in die Emissionssituation, die der Wachstumsrate des Einzugsgebietes der Zugspitze zugrunde liegt, können Trajektorien geben. Trajektorien aus der Dispersions- und Transportmodellierung haben sich als zuverlässiges Werkzeug zur Untersuchung dynamischer Prozesse in der Atmosphäre auf der synoptischen Skala etabliert. Auf der Grundlage von meteorologischen Feldern numerischer Wettervorhersagemodelle verfolgen sie die Bewegung eines Luftpakets in Raum und Zeit und lassen über die entstehenden Zugbahnen Strömungsmuster erkennen. Werden die Trajektorien ausgehend von einer Messstation rückwärts in der Zeit berechnet, geben sie Auskunft über die Transportwege und potentiellen Quellgebiete der detektierten Luftmassen. Mit Hilfe des Lagrange'schen Partikel-Dispersionsmodells FLEXPART (Stohl et al. 2005) werden am Startpunkt Schneefernerhaus alle zwei Stunden zehntausend Luftvolumina mit den spezifischen Tracereigenschaften des  $\text{CO}_2$  entlassen und über zehn Tage hinweg rückverfolgt. Die zehntägigen Partikeltransportrechnungen bilden zusammen mit den zum jeweiligen Startzeitpunkt gemessenen  $\text{CO}_2$ -Konzentrationen die Grundlage für die Herkunftsanalysen des Kohlendioxids an der Zugspitze.

Um derartige Dispersionsrechnungen nun aber für die Herkunftsanalyse von Luftmassen einsetzen zu können, müssen Unsicherheiten berücksichtigt werden, die beispielsweise durch die begrenzte Modellauflösung der meteorologischen Felder oder die Parametrisierungen des Partikelmodells zustande kommen. Deshalb werden die Rückwärtssimulationen der Partikeldispersion

mittels Clusteranalysen und mit Hilfe der cost733class-Klassifikationssoftware (Philipp et al. 2016) auf den Pfad ihrer Zentroide zusammengefasst. Das bedeutet, dass wenige Zentroide die mittleren und damit am wenigsten fehlerbehafteten Haupttrouten des Partikeltransports abbilden. So können die Luftmassen der atmosphärischen Grenzschicht über dem Nordatlantik aussagekräftig in fünf Clustern zusammengefasst werden, deren Zentroidpfade Abbildung 4 in horizontaler (4 a) wie vertikaler (4 b) Erstreckung wiedergibt: Cluster 1 repräsentiert eine südwestliche und Cluster 5 eine nördliche Anströmrichtung zur Zugspitze. Cluster 2, 3 und 4 hingegen bilden Luftmassen aus nordwestlichen Richtungen ab (Abb. 4 a). In der Vertikalen (Abb. 4 b) lässt sich folgender Hauptunterschied ausmachen: während Cluster 3 und 4 Luftmassen darstellen, die aus der mittleren Troposphäre in über 3 km Höhe auf Zugspitzniveau absinken, zeigen Cluster 1 und 2 hingegen Luftmassen, die sich insgesamt näher an der Erdoberfläche bewegen. In beiden Clustern wird Luft zunächst aus der oberen Grenzschicht (ca. 2 km Höhe) zum Erdboden verdriftet, bevor sie zur Zugspitze angehoben wird.

Setzt man diese „fünf repräsentativen Transportwege“ nun mit der  $\text{CO}_2$ -Konzentration an der Zugspitze in Relation, ergibt sich folgendes in Abbildung 5 dargestellte Bild. Cluster 1 und 2 sind mit erhöhten, Cluster 3 und 4 mit vergleichsweise niedrigen  $\text{CO}_2$ -Konzentrationen auf der Zugspitze verknüpft. In Kombination mit den zuvor diskutierten horizontalen und vertikalen Eigenschaften der repräsentativen Transportwege können Luftmassen aus niedrigen Höhen erstens mehr bodennahe  $\text{CO}_2$ -Emissionen aufnehmen, zweitens bleibt die  $\text{CO}_2$ -Konzentra-

# Spuren(gas)suche auf Deutschlands höchstem Berg

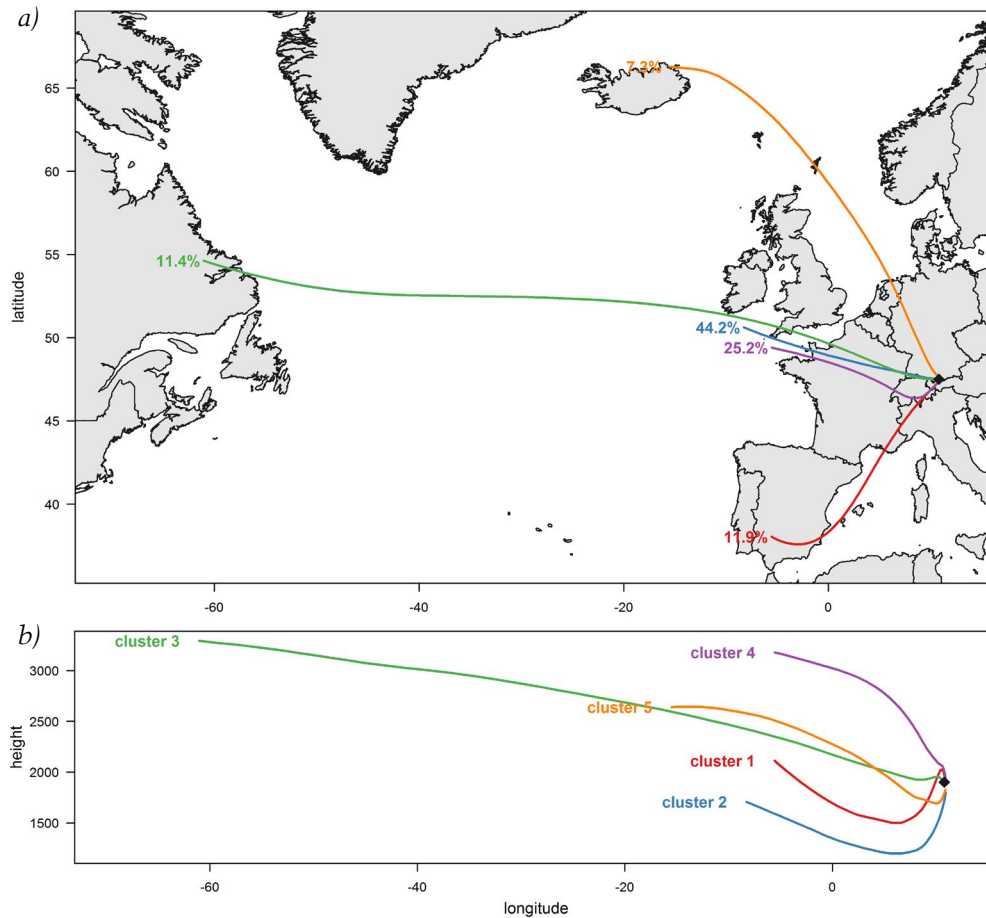


Abb. 4: Clusteranalyse fünftägiger Rückwärtstrajektorien grenzschichtbeeinflusster Luftmassen, die zwischen 2011 und 2015 an der GAW-Station Zugspitze/Schneefernerhaus eingetroffen sind, aus a) horizontaler und b) vertikaler Perspektive (relative Auftrittshäufigkeiten der jeweiligen Cluster im fünfjährigen Untersuchungszeitraum angegeben in Prozent)

# Spuren(gas)suche auf Deutschlands höchstem Berg

tion durch die geringere vertikale Durchmischung hoch und führt letztendlich zu den hohen an der Zugspitze beobachteten Werten. Zusammenfassend lässt sich also sagen, dass Cluster 1 und 2 den lokalen Quelleneintrag bzw. den regional emittierten  $\text{CO}_2$ -Anteil wiedergeben und sich klar von den restlichen Clustern abgrenzen, die den ferntransportierten Anteil auf sich vereinigen. Die Cluster der Rückwärtstrajektorien einer Messstation mit den zeitgleich am Startpunkt aufgezeichneten  $\text{CO}_2$ -Werten in Bezug zu setzen, erlaubt eine erste qualitative Einordnung, ob sich Transportmuster konzentrationsmindernd oder -steigernd auf die Messergebnisse auswirken; einzelne Quellen und Senken des Treibhausgases können dabei aber nicht lokalisiert werden (Apadula et al. 2013).

## Potentielle Quellbeitragsfunktion

Die Detektion geographischer Gebiete mit Einfluss auf die  $\text{CO}_2$ -Konzentrationen eines Standorts erfolgt über die potentielle Quellbeitragsfunktion (Potential Source Contribution Function, PSCF), die in bisherigen Studien zur Quellzuordnung von Spurengasen an der Untersuchungsstation Zugspitze als bestes statistisches Verfahren aus dem Vergleich unterschiedlicher Methoden hervorgegangen ist (Kaiser et al. 2007). Wie zuvor die Clusteranalyse verknüpft auch die PSCF die an der Messstation ankommenden Pfade atmosphärischer Luftmassen in Form von Rückwärtstrajektorien mit den zeitgleich gemessenen  $\text{CO}_2$ -Konzentrationen. In Erweiterung zur Clusterung der Rückwärtstrajektorien berücksichtigt die PSCF die Aufenthaltsdauer der Luftpakete über geographischen Regionen im Vorfeld ihrer Ankunft und Aufzeichnung

am Messstandort (Begum et al. 2005). Hierfür wird das Untersuchungsgebiet in Gitterzellen untergliedert, die entsprechend ihrer Beitragswahrscheinlichkeit zu trend- und saisonbereinigten  $\text{CO}_2$ -Messwerten oberhalb eines Grenzwerts farbig codiert werden und schließlich in Gestalt einer Karte räumlich hochaufgelöst potentielle Emittenten verorten (Hopke et al. 1995).

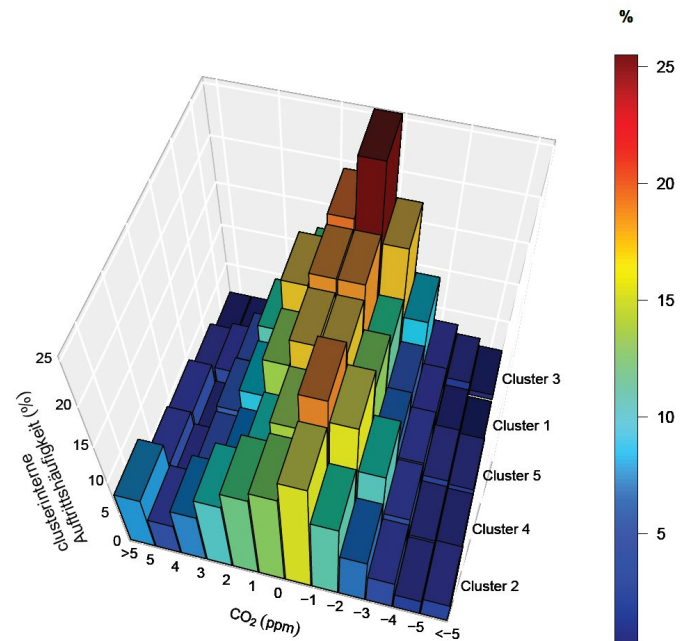


Abb. 5: Gegenüberstellung der relativen Auftretshäufigkeiten saison- und trendbereinigter  $\text{CO}_2$ -Konzentrationen (in Prozent), die zwischen 2011 - 2015 am Schneefernerhaus gemessen und via Cluster-Analyse den fünf Transportmustern aus Abb. 4 zugeordnet wurden.

# Spuren(gas)suche auf Deutschlands höchstem Berg

Erhöhte Unsicherheiten der PSCF-Werte schwach frequentierter Gebiete werden mit Hilfe eines Korrekturfaktors berücksichtigt (nach Polissar et al. 1999). Damit fungiert die potentielle Quellbeitragsfunktion als zuverlässiger Indikator für die Wahrscheinlichkeit, dass eine bestimmte Region zu besonders hohen CO<sub>2</sub>-Messergebnissen an einem Rezeptor beiträgt (Pekney et al. 2006). Es gilt dabei die grundlegende Annahme, dass Trajektorien, die eine Gitterzelle mit Quellen passieren, die dortige Veränderung des atmosphärischen Schadstoffgehalts effektiv zum Rezeptor transportieren (Hopke 2003). Eine exemplarische PSCF-Karte zeigt Abbildung 6, die mit prozentualen Wahrscheinlichkeiten die für besonders hohe CO<sub>2</sub>-Konzentrationen (jenseits des 95. Perzentils) an der Zugspitze relevanten Gebiete aufzeigt. Deutlich erkennbar ist die Region mitteleuropäischer Braunkohlereviere (Lausitz, Most, Sokolov), die zwischen 2011 - 2015 folglich Hauptverursacher höchster CO<sub>2</sub>-Konzentrationen selbst an Deutschlands höchstgelegener Messstation auf über 2650 m Höhe sind.

## Ausblick

Die im Rahmen der Modellgenauigkeit recht präzise Verortung der Braunkohlekraftwerke – den größten CO<sub>2</sub>-Emittenten im Einzugsgebiet der Messstation Zugspitze – in Abbildung 6 ist ein erster gewichtiger Beleg für die Funktionalität der inversen ‚top-down‘-Modellierung mit Hilfe von Trajektorien. Um die Verlässlichkeit des Verfahrens genauer einzuschätzen und die Modellgüte zu quantifizieren, sollen die Ergebnisse der vorgestellten Trajektorienanalysen mit Emissionskatastern verglichen werden.

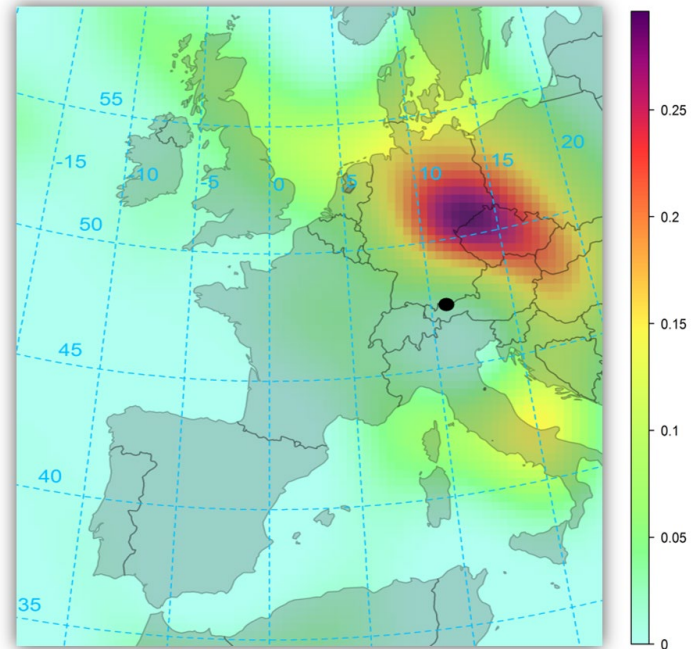


Abb. 6: Potentielle Quellbeitragsfunktion (angegeben in prozentualer Wahrscheinlichkeit) derjenigen Trajektorien regionalen Ursprungs, die während des Untersuchungszeitraum 2011 - 2015 zu trend- und saisonalitätsbereinigten CO<sub>2</sub>-Messwerten oberhalb des 95. Perzentils an der Messstation Schneefernerhaus geführt haben.

# Spuren(gas)suche auf Deutschlands höchstem Berg

## Literatur

- Apadula, F., Gotti, A., Pignini, A., Longhetto, A., Rocchetti, F., Cassardo, C., Ferrarese, S., Forza, R. (2003): Localization of source and sink regions of carbon dioxide through the method of the synoptic air trajectory statistics, *Atmospheric Environment* 37, S. 3757-3770.
- Begum, B. A., Kim, E., Jeong, C.-H., Lee, D.-W., Hopke, P. K. (2005): Evaluation of the potential source contribution function using the 2002 Quebec forest fire episode, *Atmospheric Environment* 39, S. 3719-3724.
- Chamber, S. D., Williams, A. G., Conen, F., Griffiths, A. D., Reimann, S., Steinbacher, M., Krummel, P. B., Steele, L. P., van der Schoot, M. V., Galbally, I. E., Molloy, S. B., Barnes, J. E. (2016): Towards a Universal „Baseline“ Characterisation of Air Masses for High- and Low-Altitude Observing Stations Using Radon-222, *Aerosol Air Quality Research* 16, S. 885-899.
- Dlugokencky, E. J., Lang, P. M., Masarie, K. A., Crotwell, A. M., Crotwell, M. J. (2015): Atmospheric carbon dioxide dry air mole fractions from the NOAA ESRL Carbon Cycle Cooperative Global Air Sampling Network, 1968-2014, [ftp://aftp.cmdl.noaa.gov/data/trace\\_gases/co2/flask/surface/](ftp://aftp.cmdl.noaa.gov/data/trace_gases/co2/flask/surface/).
- Fang, S. X., Tans, P. P., Steinbacher, M., Zhou, L. X., Luan, T. (2015): Study the regional CO<sub>2</sub> mole fractions filtering approach at a WMO/GAW regional station in China, *Atmospheric Measurement Techniques Discussion* 8, S. 7057-7091.
- Fang, S. X., Zhou, L. X., Tans, P. P., Ciais, P., Steinbacher, M., Xu, L., Luan, T. (2014): In situ measurements of atmospheric CO<sub>2</sub> at the four WMO/GAW stations in China, *Atmospheric Chemistry and Physics* 14, S. 2541-2554.
- Hopke, P. K. (2003): Recent developments in receptor modeling, *Journal of Chemometrics* 17, S. 255-265.
- Hopke, P. K., Li, C. L., Ciszek, W., Landsberger, S. (1995): The use of bootstrapping to estimate conditional probability fields for source locations of airborne pollutants, *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 30, S. 69-79.
- Kaiser, A., Scheifinger, H., Spangl, W., Weiss, A., Gilge, S., Fricke, W., Ries, L., Cemas, D., Jesenovec, B. (2007): Transport of nitrogen oxides, carbon monoxide and ozone to the Alpine Global Atmosphere Watch stations Jungfraujoch (Switzerland), Zugspitze and Hohenpeissenberg (Germany), Sonnblick (Austria) and Mt. Krnovec (Slovenia), *Atmospheric Environment* 41, S. 9273-9287.
- Pekney, N. J., Davidson, C. I., Zhou, L., Hopke, P. K. (2006): Application of PSCF and CPF to PMF-Modeled Sources of PM 2.5 in Pittsburgh, *Aerosol Science and Technology* 40, S. 952-961.
- Philipp, A., Beck, C., Huth, R., Jacobeit, J. (2016): Development and comparison of circulation type classifications using the COST733 dataset and software, *International Journal of Climatology* 36, S. 2673-2691.
- Polissar, A. V., Hopke, P. K., Paatero, P., Kaufmann, Y. J., Hall, D. K., Bodhaine, B. A., Dutton, E. G., Harris, J. M. (1999): The aerosol at Barrow, Alaska – long-term trends and source locations, *Atmospheric Environment* 33, S. 2441-2458.
- Ruckstuhl, A. F., Henne, S., Reimann, S., Steinbacher, M., Vollmer, M. K., O'Doherty, S., Buchmann, B., Hueglin, C. (2012): Robust extraction of baseline signal of atmospheric trace species using local regression, *Atmospheric Measurement Techniques* 5, S. 2613-2614.



## Spuren(gas)suche auf Deutschlands höchstem Berg

- Stohl, A., Forster, C., Frank, A., Seibert, P., Wotawa, G. (2005): Technical note – The Lagrangian particle dispersion model FLEXPART version 6.2, *Atmospheric Chemistry and Physics* 5, S. 2461-2474.
- Tsutsumi, Y., Mori, K., Ikegami M., Tashiro T., Tsuboi K. (2006): Long-term trends of greenhouse gases in regional and background events observed during 1998-2004 at Yonagunijima located to the east of the Asian continent, *Atmospheric Environment* 40, S. 2868-5879.
- Zellweger, C., Forrer, J., Hofer, P., Nyeki, S., Schwarzenbach, B., Weingartner, E., Ammann, M., Baltensperger, U. (2003): Partitioning of reactive nitrogen ( $\text{NO}_y$ ) and dependence on meteorological conditions in the lower free troposphere, *Atmospheric Chemistry and Physics* 3, S. 779-796.

# Siedlungsmuster präkolonialer Kulturen im Amazonasgebiet

## PROJEKTTEAM

- Dipl. Geogr. Carolin von Groote-Bidlingmaier  
cvgb@geo.uni-augsburg.de
- Prof. Dr. Sabine Timpf  
sabine.timpf@geo.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 2313
- Prof Dr. Klaus Hilbert  
hilbert@pucrs.br  
Tel.: +55 51 3320 3534
- PD Dr. Jens Soentgen  
soentgen@wzu.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 3560
- Dr. Gabriele Herzog-Schröder  
gabriele.herzog-schroeder@ethnologie.lmu.de

## FÖRDERUNG

- Deutscher Akademischer Austauschdienst (DAAD)

## LAUFZEIT

- Januar 2014 - Dezember 2016

## Worum geht es?

Bei Terras Pretas handelt es sich um sehr fruchtbare Böden im Amazonasgebiet, die durch menschliche Einflüsse entstanden sind. Allerdings ist das indigene Wissen über die Genese im Laufe der Jahre verloren gegangen. Im Rahmen des Projekts „Modellierung und Analyse der Wanderungsbewegungen präkolonialer Kulturen im Amazonasgebiet mit Methoden der Geoinformatik“, welches durch den DAAD gefördert wurde, wurden die Siedlungsmuster

präkolonialer Kulturen – und damit auch die Verteilungsmuster der Terras Pretas – genauer untersucht.

## Zielsetzung und Methoden

Rückschlüsse über das Siedlungsmuster prähistorischer Kulturen zu ziehen, ist aufgrund generell unvollständiger und mit Unsicherheiten behafteter archäologischer Daten schwer. Deshalb eignen sich diese Datensätze häufig nicht für die Anwendung von Standardmethoden der quantitativen Analyse von Siedlungsmustern. So war Motivation und Ziel dieser Arbeit, eine Methodik zur Erforschung der Siedlungsmuster präkolonialer Kulturen unter Berücksichtigung eines inhomogenen Raumkonzeptes zu entwickeln.

Da vermutet wird, dass die Siedlungsorte in Abhängigkeit der Kulturen variierten und von naturräumlichen Gegebenheiten stark beeinflusst waren, wurden räumliche Eigenschaften der Einflussbereiche nicht für einen isotropen, homogenen Raum klassifiziert, sondern unter Berücksichtigung der geographischen Gegebenheiten. Ausgangsbasis für die Analysen sind die Ausgrabungsorte und Funde sowie die Umwelteigenschaften. Einflussnehmende Umwelteigenschaften, wie z.B. die Nähe zu einem Gewässer, die Vegetation oder die Bodenbeschaffenheit, werden vorab identifiziert und dienen als Eingangsdaten für eine Clusteranalyse, mit der unterschiedlichen Siedlungstypen (Verteidigung, Handel etc.) identifiziert werden. Dabei werden nur Umwelteigenschaften in der näheren Umgebung berücksichtigt, um das Ergebnis der Analyse nicht zu verzerren. Es wird davon ausgegangen, dass die Distanz, die man zu überwinden bereit ist, von der jeweiligen Ressource abhängt

# Siedlungsmuster präkolonialer Kulturen im Amazonasgebiet

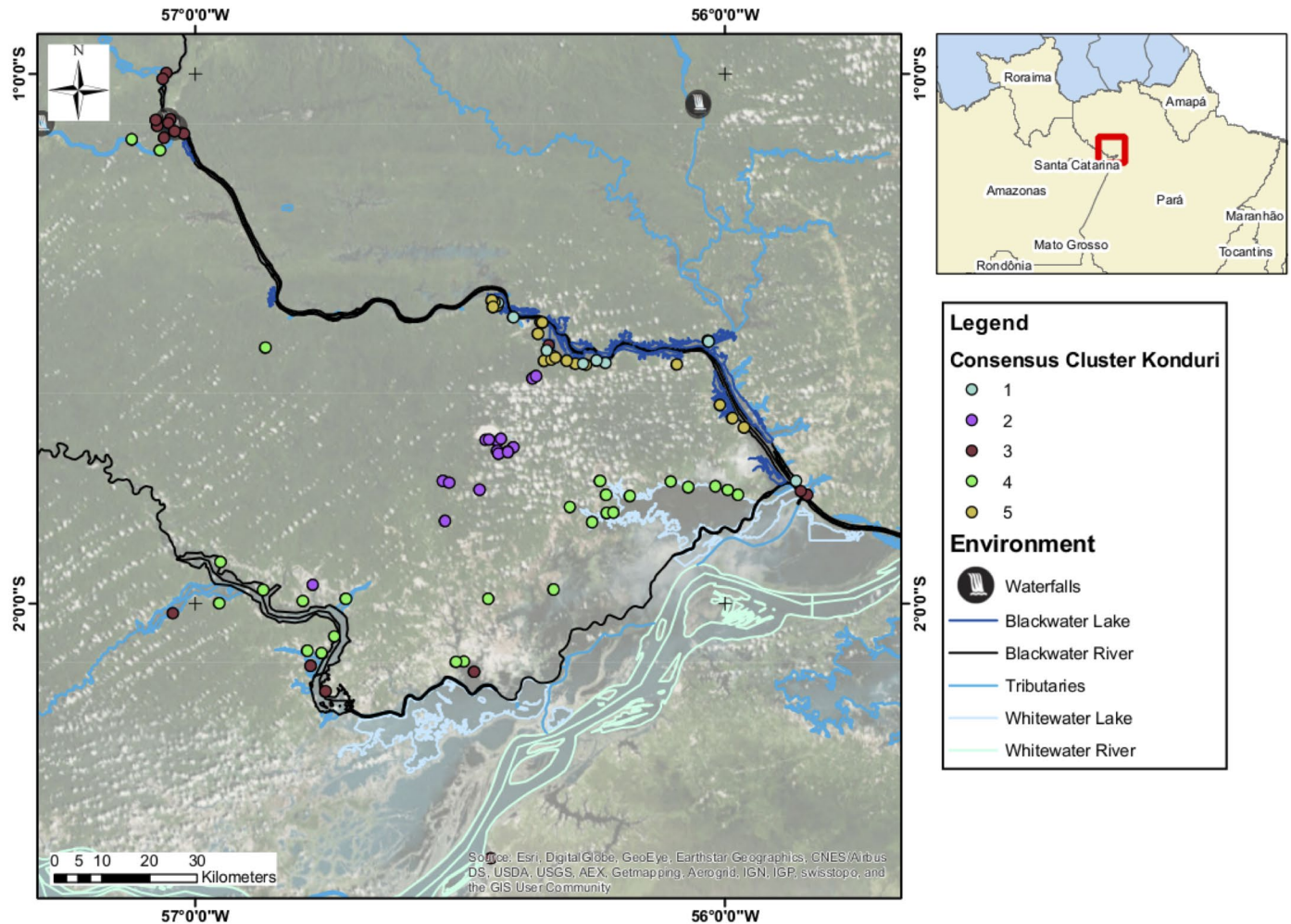


Abb. 1: Ergebnis der Cluster Analyse der Kultur „Konduri“

# Siedlungsmuster präkolonialer Kulturen im Amazonasgebiet

– beispielsweise befinden sich Gewässer oft in der Nähe der Siedlungen, während die für Werkzeuge benötigten Steine erst in größerer Distanz zu finden sind. Deswegen werden für jede Umwelteigenschaft zunächst individuelle Maximum- und Minimumwerte bestimmt, die festlegen, bis zu welcher Distanz vom Siedlungsort die jeweiligen Ressourcen in der Clusteranalyse berücksichtigt werden. Anschließend werden innerhalb dieser Intervalle Zufallswerte „maximaler Nähe“ generiert, z.B. für die maximale Nähe eines Gewässers (Umwelteigenschaft) zu einem bestimmten Siedlungsort. Die so definierten „Nahbereiche“ fließen in die Clusteranalyse ein und führen zu einer Zusammenfassung von Siedlungsorten, die in diesen Nahbereichen ähnliche Umwelteigenschaften aufweisen. Dieses Vorgehen wird vielfach wiederholt und die Ergebnisse aller Clusteranalysen werden mithilfe eines Consensus Clustering Verfahrens verglichen, um ein optimales Clusterergebnis zu ermitteln. Aus diesem optimalen Ergebnis wiederum kann mit einer Fuzzy Membership Funktion die Unschärfe der Zugehörigkeit abgeleitet werden, die eine siedlungsfunktionsbezogene Aussage ermöglicht. Daraus lassen sich individuelle Eignungs- und Kostenoberflächen berechnen, welche als Basis für weitere Analysen, wie z.B. die Berechnung von Territorien, notwendig sind.

## Durchführung und Ergebnisse

Die Berücksichtigung der umliegenden Umwelteigenschaften in Kombination mit statistischen Methoden ermöglicht es, Unterschiede im Siedlungsverhalten in Abhängigkeit der Kulturen zu identifizieren. Auf Basis des Consensus Clustering Verfahrens und der dadurch

ermittelten Fuzzy Membership Funktion wurden sowohl die Siedlungsfunktion(en) (siehe Abb. 1) wie auch für jede Siedlungsfunktion die Distanzen zu den relevanten Umwelteigenschaften (siehe Abb. 2) identifiziert. Die Interpretation der Siedlungsfunktion als beispielsweise Handels-, Jagd- oder Verteidigungsfunktion erfolgt dann durch Experten der Archäologie. Für das Siedlungsgebiet der Konduri – eine indigene Kultur, die ca. 900 Jahre vor heute im Amazonasgebiet nahe Santa Catarina (Abb. 1, klein) siedelte, konnten insgesamt fünf Siedlungsfunktionen definiert werden (s. Abb. 1, groß).

Jede Siedlungsfunktion zeichnet sich durch charakteristische Distanzen zu den relevanten Umwelteigenschaften ab. Wie Abbildung 2a wiedergibt ist die dort dargestellte Siedlungsfunktion durch eine große Nähe zum Regenwald und einen bestimmten Bodentyp gekennzeichnet, während Schwarzwasser- und Nebenflüsse sowie tonige Böden auch in größerer Distanz vorkommen. In Abbildung 2b ist dargestellt, wie die Fuzzy Membership Funktion räumlich angewandt wird, hier beispielhaft für die Umwelteigenschaft „räumliche Nähe zu einem Schwarzwasserfluss“ bezogen auf eine der fünf Siedlungsfunktionen. Da der abgebildete Schwarzwasserfluss beinahe für jede Siedlung jeweils durch die dunkelgrau markierten Zonen hoher Übereinstimmung (consensus value) verläuft, ist die Nähe zu diesem Flusstyp ein für diese Siedlungsfunktion charakteristisches Merkmal.

Je Siedlungsfunktion wird eine Kostenoberfläche auf Basis der Fuzzy Membership Funktion in Kombination mit den jeweiligen Umwelteigenschaften berechnet und dient als Grundlage für die Berechnung der Territorien

# Siedlungsmuster präkolonialer Kulturen im Amazonasgebiet

(siehe Abb. 3). Zur Ermittlung der Kostenoberfläche wird die Fuzzy Membership Funktion nicht, wie in Abb. 2b dargestellt, auf die Siedlungsorte angewandt, sondern auf die jeweiligen Umwelteigenschaften. Die dadurch entstehenden Flächen werden mit Hilfe einer zuvor ermittelten Gewichtung verrechnet. Das Ergebnis ist in Abbildung 3a zu sehen. Somit ist das Kostenraster eine berechnete Oberfläche, die anzeigt, wo die Konditionen für die ermittelten Siedlungsfunktionen am geeignetsten

sind (grüne Bereiche hoher suitability values). Auf dieser Basis kann durch die Vorgabe eines maximalen Kostenwerts dann die räumliche Ausdehnung eines Territoriums berechnet werden: Sobald der kumulative Kostenwert beim „Durchschreiten“ der Kostenoberfläche (ausgehend von der jeweiligen Siedlung) den Maximalwert erreicht, ist die Territoriumsgrenze erreicht. Die Veränderung des kumulativen Kostenwerts ist in Abbildung 3b durch den Verlauf von gelb (geringer Wert) zu violett (hohe Werte) dargestellt.

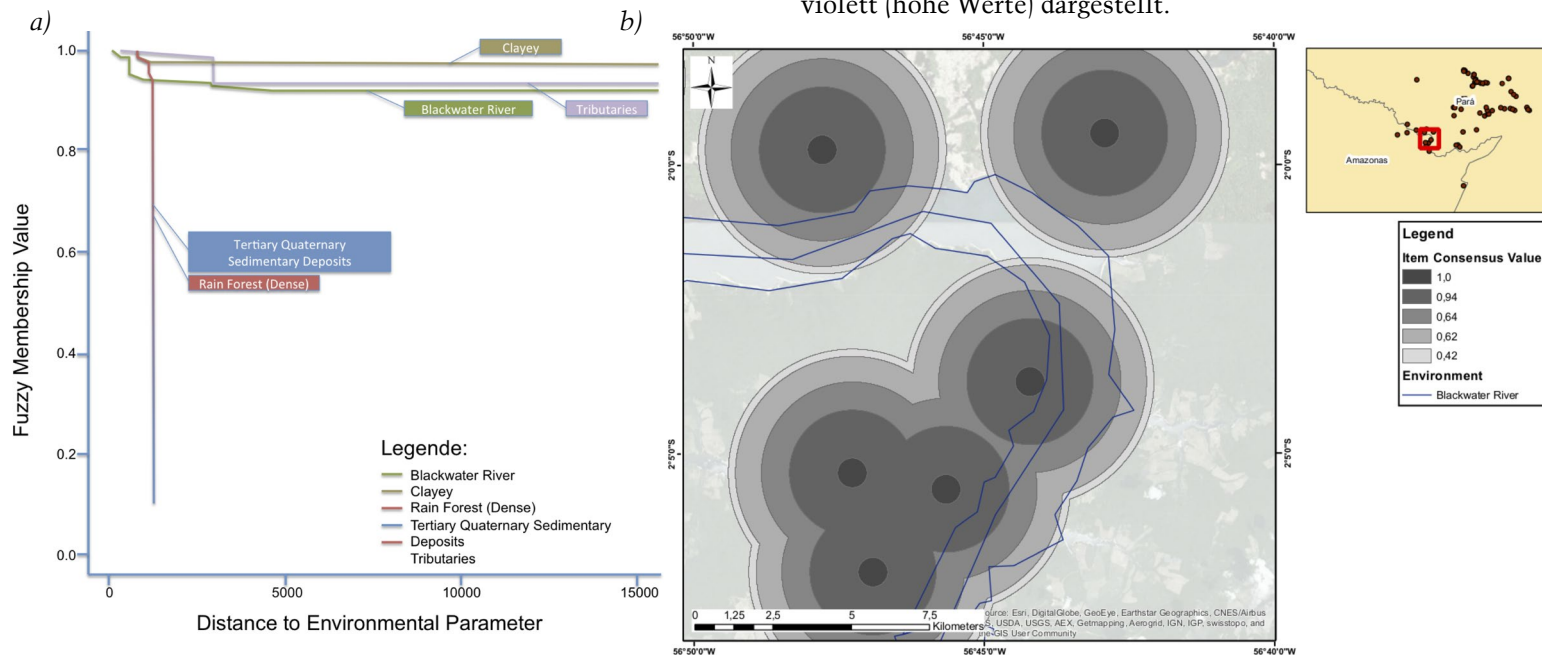


Abb. 2: a) Abgeleitete Fuzzy Membership Funktion für eine Siedlungsfunktion der Kultur „Konduri“; b) Räumliche Anwendung der Fuzzy Membership Funktion auf die Umwelteigenschaft „räumliche Nähe zu einem Schwarzwasserfluss“ und die betreffenden Ausgrabungsorte (Übersicht in kleiner Abbildung);



# Siedlungsmuster präkolonialer Kulturen im Amazonasgebiet

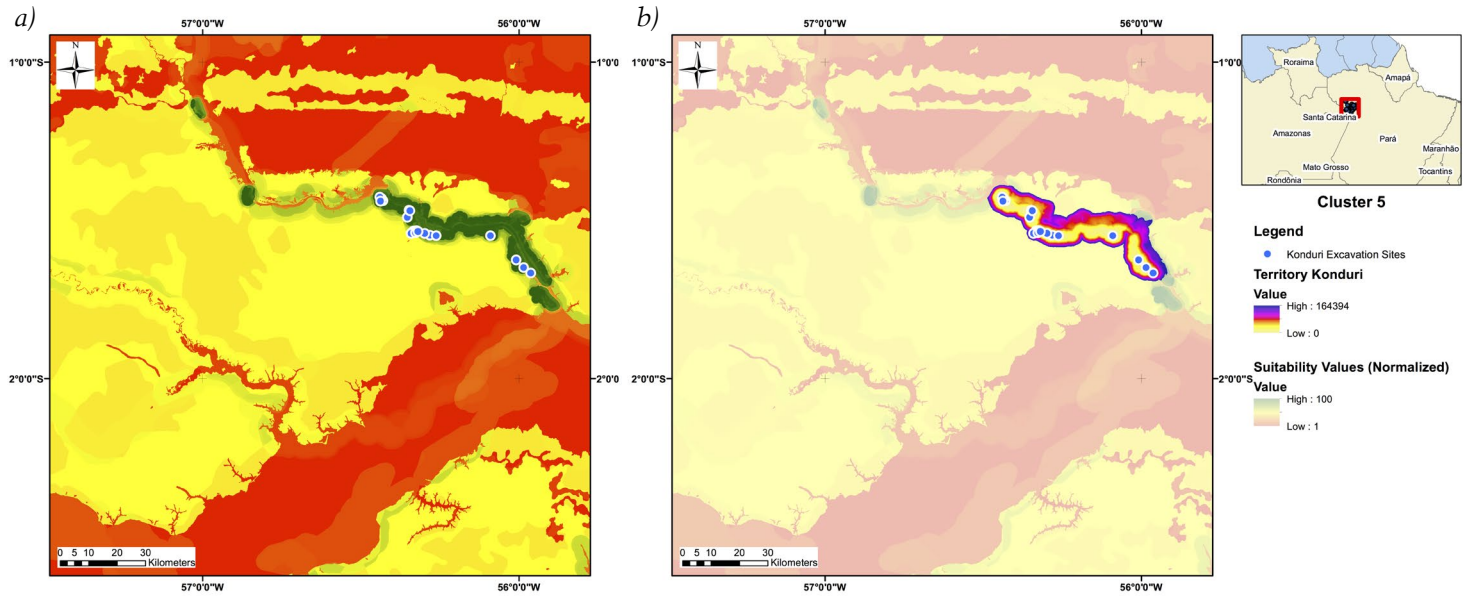


Abb. 3: a) Siedlungsfunktionsbezogene Kostenoberfläche der Kultur „Konduri“ (grün = geeignete Regionen und rot = ungeeignete Regionen); b) Das dazugehörige Territorium auf Basis der Kostenoberfläche (gelb = niedriger Wert und lila = hoher Wert);

Es lässt sich zusammenfassen, dass die entwickelte Methodik die siedlungsrelevanten Aspekte auf die umgebenden Umwelteigenschaften reduziert. Wenngleich diese Betrachtungsweise vermutlich einen gewissen Grad an Unvollständigkeit in sich birgt, so ist die Herausforderung aber gerade jene, im Fall von nicht oder kaum erforschten Kulturen, zusätzliche Informationen gewinnen zu können. Die entwickelte Methodik erlaubt es Archäologen, sowohl bestehende Theorien zu Siedlungs-

mustern präkolonialer Kulturen zu überprüfen als auch zusätzliche Szenarien zu entwickeln und neue Theorien abzuleiten.



# Siedlungsmuster präkolonialer Kulturen im Amazonasgebiet

## Publikationen

- von Groote-Bidlingmaier, C., Hilbert, K., Timpf, S., Schwer, J. (2015): Interactive WebGIS for Archaeological Settlement Pattern Analysis – A Requirement Analysis, *International Cartographic Conference 2015*, full paper; Terra Preta WebGIS unter <http://terrapreta.geo.uni-augsburg.de/>.
- Soentgen, J., Hilbert, K. (2015): Terra Preta als moderner Mythos: „Das Wunder aus dem Regenwald“, *Scheidewege, Jahresschrift für skeptisches Denken* 45, 2015/2016.
- von Groote-Bidlingmaier, C., Timpf, S., Hilbert, K. (2014a): Estimating Moving Regions out of Point Data – from Excavation Sites in the Amazon region to Areas of Influence of Prehistoric Cultures, in: Huerta, J., Schade, S., Granell, C. (Hg.) *Connecting a Digital Europe through Location and Place. Proceedings of the AGILE'2014 International Conference on Geographic Information Science*, June 3-6, Castellón, 2014.
- von Groote-Bidlingmaier, C., Timpf, S., Hilbert, K. (2014b): Erstellung von potenziellen Einflussgebieten auf der Basis von archäologischen Ausgrabungsorten – am Beispiel prähistorischer Kulturen im Amazonasgebiet, in: Strobl, J., Blaschke, J., Griesebner, G., Zagel, B. (Hg.) *Angewandte Geoinformatik 2014 - Beiträge zum 26. AGIT-Symposium Salzburg*, Berlin und Offenbach, S.77 - 86.

# Die Uni-Heide und Vegetation des Campus

## PROJEKTTEAM

- Dr. Maria Erhart  
maria.erhart@physik.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 2915
- Dipl. Geogr. Ildikó Reményi-Vogt  
ildiko.remenyi-vogt@geo.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 3283
- M. Sc. Klima- und Umweltwissenschaften  
Reiner Schwandt  
reiner.schwandt@web.de
- PD Dr. Jens Soentgen  
jens.soentgen@wzu.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 3560
- Nicolas Liebig  
n.liebig@lpv-augsburg.de  
Tel.: 0821 324 6054

## Worum geht es?

Viele Jahrhunderte bildeten Flussschotterheiden natürliche Ökosysteme entlang des Lechs und der Wertach. Durch ein Mosaik vielfältiger Standortbedingungen zählen diese blütenreichen Magerrasen zu Mitteleuropas artenreichsten Lebensräumen. Heute sind nur noch wenige Relikte dieser Flächen, wie z.B. die Dürren-Ast-Heide und die Königsbrunner Heide, erhalten. In den letzten Jahren konnten mittels gezielter Maßnahmen neue Heiden geschaffen werden, wie die Flächen am Landesamt für Umwelt (LfU) und die „Uni-Heide“ am Wissenschaftszentrum für Umwelt (WZU) belegen. Im Frühjahr 2013 initiierte das Wissenschaftszentrum

Umwelt gemeinsam mit der Didaktik der Biologie die Anlage einer Heidefläche auf dem Campus der Universität Augsburg. Im Rahmen des Konzepts der „Grünen Lern- und Arbeitsinseln“ wurde das Areal rund um das WZU in eine magere Blühfläche umgestaltet. Denn: „Auf staatlichen Flächen soll der Erhalt der biologischen Vielfalt in vorbildlicher Weise umgesetzt werden“, fordert die aktuelle Biodiversitätsstrategie der Bayerischen Staatsregierung.

Das gängige „Grün“ um öffentliche Gebäude besteht in der Regel aus Einzelbäumen und Sträuchern, kombiniert mit Vielschnittrassen. Bieten heimische Bäume und Buschwerk noch zahlreichen Tieren Futter und Lebensraum, ist die Artenvielfalt und Zusammensetzung einer oftmals gemähten Wiese vergleichsweise gering, denn diese hängt direkt mit der Mahdhäufigkeit zusammen. Man zählt hier meist nur um die 30 Pflanzenarten. Zudem wirken diese Flächen wie artenarme Barrieren im innerstädtischen Biotopverbund, obwohl vernetzten Biotopstrukturen ein hoher naturschutzfachlicher Stellenwert beigemessen wird.

Die Uni-Heide soll zeigen, dass es auch anders geht. Maßgeblich beteiligt an der Planung und Umsetzung ist der Landschaftspflegeverband Stadt Augsburg e.V. (LPVA). Durch den Ausbau des Verbundnetzes soll heimischen Arten die Möglichkeit geboten werden, sich im urbanen Raum anzusiedeln und die naturnahen Biotope als „Trittssteine“ für Neu- und Wiederbesiedlung von Lebensräumen zu nutzen. So entstand auch die Uni-Heide in enger Kooperation des WZU und der Didaktik der Biologie mit Nicolas Liebig, Geschäftsführer des LPVA und Spezialist für Heideflächen. Mit der Anlage konnten mehr als 100 für Südbayern typische Pflanzenarten auf dem Campus

# Die Uni-Heide und Vegetation des Campus

heimisch werden und zur Schaffung einer strukturreichen, natürlicheren Umgebung beitragen.

## Die Campus-Flora

Von Juni bis August 2016 kartierte Reiner Schwandt im Rahmen seiner Masterarbeit am Lehrstuhl für Physische Geographie und Quantitative Methoden die Flora und Vegetation des Universitätscampus in Augsburg. Ziel war es, erstmals die Artenvielfalt des universitären Geländes festzustellen und Vergesellschaftungen der Pflanzenar-



Eine sehr seltene Art (Rote Liste 3) wächst auf der Uni-Heide: *Allium carinatum*, Gekielter Lauch.

ten in einem urban geprägten Raum zu erforschen. Die Vegetationskartierung erfolgte nicht über das gesamte Jahr und erfasste somit nur einen Teil der Vegetationsperiode. Arten, welche im Frühjahr oder Herbst wachsen, wurden nicht erfasst. Aus diesem Grund sind die angegebenen Artenzahlen nicht vollständig und spiegeln nur einen Ausschnitt der Gesamtvegetation wider. Dennoch konnte festgestellt werden, dass die Uni-Heide bedeutend zur Biodiversität des Campus beiträgt.

Der Campus erfüllt für Besucher, Mitarbeiter und Studierende unterschiedliche Zwecke. Häufig wird dabei jedoch dem vegetativen Umfeld und der Artenvielfalt wenig Beachtung geschenkt. Dabei ist die Vielfalt der Pflanzen und Lebensräume auf dem Campus sehr vielseitig. So gibt es auf der einen Seite große Standorte wie Uniteich, Ufer, Wiesen, Baumgruppen und Sträucher. Auf der anderen Seite fallen dem Fußgänger kleinere Pflanzen wie Weiße Fetthenne (*Sedum album*) zwischen den Ritzen der Pflastersteine kaum auf. Dies ist eine Art, die an hohe Trittbelastung angepasst ist. Ein weiterer Nischenstandort sind die Unigebäude, die vielerorts durch Kletterpflanzen wie Gemeinem Efeu (*Hedera helix*) oder Fünfblättrigem Wilden Wein (*Parthenocissus quinquefolia*) bewachsen sind. Darüber hinaus wurden viele Dächer an der Universität durch Begrünung ökologisch aufgewertet. Wer hätte gedacht, dass das Dach der sozialwissenschaftlichen Bibliothek hauptsächlich von *Allium schoenoprasum*, dem bekannten Küchenkraut Schnittlauch, bewachsen ist?

Eine hohe Artenvielfalt findet sich jedoch weniger in den wiesen- oder waldartigen Strukturen, sondern auf ruderalen Standorten. Allein auf dem Schutt der Baustelle des Musikgebäudes konnten 82 verschiedene Arten

## Die Uni-Heide und Vegetation des Campus



Masterstudent Reiner Schwandt (links im Bild) zeigte sich als Naturtalent, auch Jens Soentgen, Wissenschaftlicher Leiter des WZU (rechts im Bild), schwang die Sense.

erfasst werden. Dementsprechend kann sich sogar am Campus der Universität Augsburg, an mancher ruderalen Stelle, eine für Mitteleuropa eher seltene Art ansiedeln. So wächst auf dem Parkplatz zwischen Physikgebäude Süd und Deutschem Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) das seltene Gras *Melica transsilvanica*, das Siebenbürgische Perlgras. *Die höchste Artenvielfalt am Unicampus weist jedoch die Uni-Heide am WZU auf.* Nährstoffarmut sowie einmalige Mahd begünstigten die Entwicklung einer typischen Lechheide-Vegetation auf der WZU-Fläche. Es konnten 112 verschiedene Arten kartiert werden, viele davon charakteristische Lechheidepflanzen, darunter auch etliche seltene wie etwa die Küchenschelle (*Pulsatilla vulgaris*) oder der Gekielte Lauch (*Allium carinatum*). Im Vergleich gedeihen auf einem nährstoffreichen Rasen mit hoher Mahdfrequenz nur ca. 35 Arten.

Die hohe Diversität der Heide-Fläche ist allerdings nicht statisch, sondern variiert in Arten- und Individuenzusammensetzung im jahreszeitlichen Verlauf aber auch über die Jahre hinweg. So leuchteten dem Betrachter im Sommer 2015 auf der Ostseite des WZU zahlreiche Exemplare des Natternkopfes (*Echium vulgare*) entgegen. Da *Echium vulgare* trockene Standorte bevorzugt, konnte die Art 2016 aufgrund des niederschlagsreichen Frühjahres und der sich deshalb ausbreitenden Gräser nur wenige Blütenstände ausbilden. Dafür trat der Große Klappertopf (*Rhiantus angustifolius*) in den Vordergrund des Blühspektrums, eine Pflanze die teilschmarotzend an Gräsern gedeiht.

Die Vielfalt der Flora und Vegetation bedingt eine hohe Diversität in der Insektenwelt. Es wurden auf der Uni-Heide 2016 verschiedene Bläulingsarten, Bienen (Wild-



# Die Uni-Heide und Vegetation des Campus



*Der Hornklee-Glasflügler (Bembecia ichneumoniformis) findet auf der Uni-Heide ausreichend Nahrung und Unterschlupf.*

bienen wie auch Honigbienen), Hummeln und zahlreiche Käferarten gesichtet. Die Vielfalt kann man hören: Bei Sonnenschein zirpten hier die Heuschrecken – die Standardflächen auf dem übrigen Unigelände hingegen blieben stumm. In den kommenden Jahren sollen die Insektenarten näher untersucht werden.

Die Uni-Heide ist nicht nur wesentlich artenreicher, wie unsere Studie zeigt, sie ist – verglichen mit den Vielschnittrasen der Universität – auch energie- und ressourcenschonend, denn sie wird von den Studierenden der Didaktik der Biologie sowie der Physischen Geographie und Quantitativen Methoden einmal im Jahr gemäht. Dies geschieht mittels einer der ältesten Kulturtechniken in der Landwirtschaft: per Hand mit der Sense. Das klassische Sensen auf kleineren Flächen bietet einige naturschutzrelevante Vorteile gegenüber der Mahd mit Balken- oder Kreiselmäher. Eine geringere Verdichtung des Bodens, keine Rückstände von fossilen Schmierstof-

fen aus Mähwerken, die Schonung der den Lebensraum bewohnenden Fauna sowie keine Lärm- und Abgasemissionen. Überdies bietet die körperliche Betätigung an frischer Luft gesundheitliche Vorteile.

## Die Uni-Heide in der universitären Lehre

Im Rahmen der jährlichen Exkursion „Wir pflegen unsere Uni-Heide“, erlernen die Studierenden den richtigem Umgang mit dem Schnittwerkzeug. Im Übrigen kann bei richtiger Anwendung und Anpassung des Gerätes auf die Größe des Mähenden die alte Volksweisheit widerlegt werden, dass Sensen eine schwere körperliche Anstrengung sei und nur nach langjähriger Übung beherrscht werden könne. Im Kurs zeigten sich schnell Naturtalente unter den Studierenden. Das Mahdgut wurde danach von der Fläche entfernt, damit der magere Boden erhalten bleibt.

Weiterhin konnte die Heidefläche seit ihrer Entstehung 2013 über Exkursionen, Seminare und Abschlussarbeiten fest in den Lehrbetrieb eingebaut werden. Studierende haben damit an der Universität Augsburg die Möglichkeit, zoologische und botanische Arten- und Formenkenntnisse über originale Begegnungen zu erlernen. Zudem kann das Prinzip der Flächenrenaturierung und Biotoppflege aktiv vermittelt und erfahren werden.

Auf die Entstehung und Artenvielfalt der Uni-Heide weist seit Juli 2016 eine Informationstafel an der Fläche hin. Diese wurde von der Studentin der Didaktik der Biologie, Julia Schifferer, im Rahmen ihrer Masterarbeit entwickelt. Zudem entstand Lernmaterial, um die Heidefläche am WZU in die universitäre Lehre einzubinden und das Thema „Heide“ im Schulunterricht anschaulich behandeln zu können.

# Die Uni-Heide und Vegetation des Campus

## Literatur

- Schwandt, Reiner (2016): *Die Vegetation und Flora des Universitätscampus in Augsburg: Kartierung und naturschutzfachliche Bewertung*. Masterarbeit am Lehrstuhl für Physische Geographie und Quantitative Methoden.
- Liebig, N. (2011): *Management von Flussschotterheiden in Augsburg*, BfN-Skripten.





# ENVIRONMENTAL HUMANITIES

78 Environmental Humanities an der Universität Augsburg

# Environmental Humanities

## PROJEKTLEITUNG

- PD Dr. Jens Soentgen  
Wissenschaftszentrum Umwelt und  
Memorial University of Newfoundland (MUN),  
St. John's, Canada  
soentgen@wzu.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 3560
- Prof. Dr. Hubert Zapf  
Lehrstuhl für Amerikanistik,  
Chair of American Literature  
hubert.zapf@philhist.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 2480

## Worum geht es?

Die Environmental Humanities haben sich in kurzer Zeit zu einem der wichtigsten und innovativsten neuen Paradigmen der Geistes- und Kulturwissenschaften entwickelt. Forschungszentren und Lehrprogramme der Environmental Humanities sind in Princeton, an der UCLA (University of California, Los Angeles), der UCSB (University of California, Santa Barbara) und an weiteren Standorten der nordamerikanischen und globalen Universitätslandschaft entstanden oder im Entstehen und fassen die interdisziplinäre Beschäftigung mit ökologischen und umweltorientierten Problemen und Fragestellungen zusammen. Die wissenschaftliche Erforschung dieser heute zentralen Herausforderungen einer „Weltrisikogesell-

schaft“ (Ulrich Beck) ist aus dieser Sicht genuine Aufgabe nicht nur der Natur- und Technikwissenschaften, sondern explizit gerade auch der Geisteswissenschaften/ Humanities. Beispiele für solche Themenfelder sind:

- der Klimawandel und seine kontroversen Interpretationen; verschiedene Formen der Umweltbelastung und ihre politischen, gesellschaftlichen, gesundheitlichen Risiken;
- die Frage von Handlungsoptionen im Anthropozän, in dem techno-ökonomische Eingriffe in die Umwelt mit vermeintlichen Lösungen ständig neue Risiken erzeugen;
- dringend benötigte Ansätze zu einem wertorientierten Umweltbewusstsein, das auch environmental justice, Diversität und Gender-Gerechtigkeit einbezieht und das in verschiedener Weise in Literatur, Philosophie, Kunst, Pädagogik, Ethnologie, Geschichte, Sprachwissenschaft, Ethik oder Theologie vermittelt wird;
- die Verbindung von lokalen und weltweiten Implikationen ökologischen Denkens und Handelns als Alternative zu einem rein ökonomisch-expansiven Modell von Fortschritt und Globalisierung;
- das Verhältnis von Mensch und nichtmenschlicher Natur, von anthropozentrischen und nicht-anthropozentrischen Wertorientierungen in diachroner und synchroner Sicht;
- die Rolle ökologischer Kommunikation in Texten und (neuen) Medien, einschließlich digitaler Kommunikationsformen;
- nicht zuletzt auch der Beitrag der Geistes- und Kulturwissenschaften zum Thema „Nachhaltigkeit“, das wiederum kulturelle, ethische und ästhetisch-künstlerische Dimensionen hat.

## Environmental Humanities



*Die Augsburger Environmental Humanities tagen zum Thema „Regenerative Energien“ auf der Umweltforschungsstation Schneefernerhaus, Zugspitze.*

Manche dieser Aspekte grenzen an naturwissenschaftliche und medizinische Fragestellungen an und überschneiden sich mit diesen, gehen aber darüber hinaus im Sinne einer transdisziplinären Konzeption, die den Dialog zwischen Kultur- und Naturwissenschaften einbezieht (damit dem Konzept einer Netzwerkuniversität entspre-

chend), die aber zugleich den eigenständigen Beitrag der geistes- und sozialwissenschaftlichen Fächer zu einer angemessen komplexen, d.h. sowohl vergangenheitsbewussten wie zukunftsorientierten Diagnose der Gegenwart ernst nimmt.

# Environmental Humanities

## Environmental Humanities an der Universität Augsburg

Forschung im Bereich der Environmental Humanities ist auf disziplinübergreifende Zusammenarbeit auch dann angewiesen, wenn sie ihre Fragen in disziplinärer Perspektive formuliert. Zur Förderung solcher Zusammenarbeit, auch mit den Naturwissenschaften hat die Universität zentrale Einrichtungen geschaffen, wie insbesondere das Wissenschaftszentrum Umwelt (WZU) und das Jacob Fugger Zentrum. Daneben gibt es thematisch fokussierte Initiativen wie etwa das DFG-Netzwerk **Environmental Crisis and the Transnational Imagination** und internationale Kooperationen, die gezielt im Bereich Environmental Humanities angesiedelt sind, wie die Kooperation mit der Memorial University in Kanada (Environmental Philosophy), der Universität Turin (Prof. Serenella Iovino), der Universität Bern (Prof. Gabriele Rippl), der Bath Spa University in England (Prof. Kate Rigby). Disziplinäre Forschung zu Umweltthemen, etwa im Umweltrecht, in der Naturphilosophie oder in der Zeit- und Umweltgeschichte, wird in Augsburg, dem Bayerischen Umweltkompetenzzentrum, seit Jahrzehnten gepflegt.

Oft orientiert sich Forschung im Bereich der Environmental Humanities aber von vornherein an transdisziplinären Paradigmen, von denen einige an der Universität Augsburg maßgeblich konzipiert und weiterentwickelt wurden. So wird etwa das Augsburger Konzept **Literature as Cultural Ecology** international rezipiert und ist Ausgangspunkt zahlreicher Forschungsprojekte im Bereich der Medienwissenschaften und der Literaturwissenschaften. Gefragt wird hier, wie die ökologische Krise in den Künsten und in der Literatur wahrgenommen und imaginiert wird; Literatur wird als sensibles Medium der kreativen Erneuerung gesehen, nicht als luxuriöser Dekor.

Auch das Augsburger **Stoffgeschichten**projekt fokussiert auf Narrationen. Erzählungen über Stoffe und „Ressourcen“ und ihr „social life“ werden analysiert, in historischen und geographischen Studien untersucht. Stoffgeschichtliche Studien sind das sozial- und geisteswissenschaftliche Gegenstück zu den technisch-naturwissenschaftlichen Life Cycle Assessments. Politische und soziale Konflikte, aber auch kulturelle Dimensionen, die mit der Förderung, der Synthese sowie der Nutzung und Dissipation bestimmter Stoffe verbunden sind, ste-



## Environmental Humanities

hen im Fokus. Diesen „Stoffgeschichten“ ist die gleichnamige Buchreihe gewidmet, die vom WZU der Universität Augsburg seit 2004 herausgegeben wird.

Auch die **Diskursanalyse** bezieht Erzählungen und literarische Texte ein, sie ist als Forschungsmethode vor allem in der Geschichtswissenschaft und in der Soziologie präsent. Die Universität Augsburg ist eines der wichtigsten europäischen Zentren der sozialwissenschaftlichen Diskursanalyse, die hier besonders auf ökologische Narrationen etwa zum Klimawandel angewandt wird. In Augsburg wird auch die Zeitschrift für Diskursforschung herausgegeben, Umweltthemen stehen dabei oft im Mittelpunkt.

Zu den disziplinübergreifenden Forschungsfeldern ist schließlich auch die **Umweltethik** zu rechnen: an der Universität Augsburg wird der deutschlandweit einzige Masterstudiengang angeboten, der von einem gut etablierten, fakultätsübergreifenden Netzwerk von Hochschullehrern getragen wird.

Umweltbezogene Ethik ist auch ein Arbeitsschwerpunkt des Augsburger Instituts für Philosophie, ebenso wie **Environmental Philosophy und Naturphilosophie**. Die umwelthistorischen Forschungen an der Universität Augsburg haben ein ungewöhnlich breites Spektrum, denn sie werden sowohl im Bereich der Alten Geschichte wie auch im Bereich der Neuesten Geschichte, am Lehrstuhl für Geschichte der frühen Neuzeit ebenso wie am Lehrstuhl für europäische Regionalgeschichte durchgeführt, vielfach in Kooperation, wie etwa in dem von der Leibniz-Gemeinschaft geförderten Projekt zur Geschichte der Nachhaltigkeit, an dem das WZU beteiligt ist. Nähe zu anwendungsrelevanten Fragestellungen haben insbesondere die Forschungsaktivitäten am Institut für

**Umweltrecht** der Universität Augsburg, gegründet 1991. Auch die Forschungsprojekte der sozialwissenschaftlichen Kommunikationswissenschaft zeichnen sich oft durch besondere Anwendungsnähe aus, wie es etwa das Projekt zur klimaskeptischen Kommunikation beispielhaft zeigt.

Das große Institut für **Geographie** ist mit derzeit vier Lehrstühlen und fünf Professuren das Schwergewicht der Umweltkompetenz an der Universität Augsburg. Etwa jeder zehnte Studierende an der Universität Augsburg ist hier eingeschrieben. Dank ihrer Fachgeschichte verbindet die Geographie umweltnaturwissenschaftliche Methoden mit sozial- und geisteswissenschaftlichen Ansätzen. Schon die Gründer der modernen Geographie in Deutschland, Alexander von Humboldt und Carl Ritter, verstanden sich sowohl als Geistes- wie auch als Naturwissenschaftler. Ansätze der Diskursanalyse lassen sich oft fruchtbar an geographische Fragen nach dem Mensch-Natur-Verhältnis anschließen ebenso wie umwelthistorische und umweltpolitische Analysen. Der Kern der geographischen Kompetenz ist der Raumbezug. Kartierungen, insbesondere thematische Kartierungen sind so etwas wie das Wahrzeichen der Disziplin. Sie lassen sich mit vielen Fragestellungen der Environmental Humanities fruchtbar verbinden und sichern ihnen eine besondere Nähe zu Anwendungen.

### Internationale Vernetzung

Die Augsburger Forschung im Bereich der Environmental Humanities ist international ausgezeichnet vernetzt. Stellvertretend für mehrere ähnliche Kooperationen sei die Zusammenarbeit mit der kanadischen Memorial Uni-



# Environmental Humanities

versity of Newfoundland (MUN) in St. John's genannt. In der Kooperation mit unseren kanadischen Partnern bearbeiten wir aktuelle Fragen der Environmental Humanities. Im Rahmen der Initiative „For a New Earth“ fanden bereits mehrere gemeinsame Tagungen statt. Philosophiestudierende der Universität Augsburg erhalten die Möglichkeit, an der MUN einen Masterabschluss abzulegen. Eine Vereinbarung für gemeinsam betreute Dissertationen wurde unterzeichnet, den ersten Ph. D.- bzw. Promotionsstudierenden erwarten wir mit Shannon O'Rourke 2017 in Augsburg. Ähnliche Kooperationen gibt es auch mit französischen, US-amerikanischen und brasilianischen Universitäten.

## Perspektiven

Die disziplinübergreifende gemeinsame Forschung und Lehre in den Environmental Humanities wird künftig gestärkt und intensiviert werden. Ausgangspunkt ist die Überzeugung, dass die Rolle der Geistes- und Sozi-

alwissenschaften in der ökologischen Krise nicht darin besteht, einzelne kulturelle Aspekte nachträglich zur Problemdiagnose, die durch die Naturwissenschaften geleistet wurde, hinzuzufügen. Vielmehr trauen wir ihnen zu, dass sie ebenso fundamentale Beiträge wie die Naturwissenschaften zum Verständnis der Transformation der Biosphäre geliefert haben und weiter liefern werden und unser Verständnis des dramatischen geschichtlichen Umbruchs, in dem wir uns befinden, entscheidend vertiefen werden.

Um die Environmental Humanities an der Universität Augsburg weiter zu stärken, wurde, nach einem initialen Workshop am WZU, im Oktober 2016 eine Tagung zum Thema „Regenerative Energie“ der Augsburger Environmental Humanities-Gruppe in der Umweltforschungsstation Schneefernerhaus durchgeführt. Dabei wurden naturwissenschaftliche Aspekte und Beiträge bewusst einbezogen. Künftig planen wir jährlich solche Zusammenkünfte, die auch Nachwuchswissenschaftlern ein Forum geben sollen und werden Sorge tragen, dass der



*Mit der Memorial University of Newfoundland in St. John's, Kanada, kooperiert die Universität Augsburg (Institut für Philosophie und Wissenschaftszentrum Umwelt) im Bereich Environmental Philosophy und der Environmental Humanities.*



# Environmental Humanities

inspirierte Austausch dort, wo es sich anbietet, zu disziplinübergreifenden Forschungsprojekten weiterentwickelt wird und zugleich die Lehre bereichert.

Environmental Humanities verstehen wir nicht als Gegenprojekt zu den Umweltnaturwissenschaften, sondern als notwendige Ergänzung – jedoch auf Augenhöhe. Mit ihren präzisen Methoden und ihrer Kompetenz für soziale und kulturelle Zusammenhänge verfügen die Environmental Humanities über einen autonomen Zugang zur Umweltthematik. Sie sind in der Lage, die ökologische Krise selbst zu denken und können gerade durch ihre autonome, wenn auch nicht selbstgenügsame Methodik wichtige Beiträge zum Verständnis liefern. Wirksame Naturpolitiken können ohne Berücksichtigung sozialer und kultureller Tatsachen nicht konzipiert werden.

## Publikationen

- Bilandzic, H., Soentgen, J. (2014): Die Struktur klimaskeptischer Argumente. Verschwörungstheorie als Wissenschaftskritik, *Gaia* 23 (1), S. 40-47, ausgezeichnet mit dem Gaia Best Paper Award 2014.
- Böschen, S., Reller, A., Soentgen, J. (2004): Stoffgeschichten – eine neue Perspektive für eine transdisziplinäre Umweltforschung, *Gaia* 13 (1), S. 19-25.
- Dürbeck, G., Stobbe, U., Zapf, H., Zemanek E. (Hg.) (2016): *Ecological Thought in German Literature and Culture*, Lanham, MA: Lexington Books, mit einem Kapitel von Jens Soentgen über Stoffgeschichte.
- Hahn, H.-P., Cless, K., Soentgen, J. (2012): *People at the well. Kinds, usages and meanings of water in a global perspective*, Frankfurt am Main: Campus Verlag.
- Krauss, M., Lindl, S., Soentgen, J. (2014): *Der gezähmte*

*Lech. Fluss der Extreme*, München: Volk Verlag.

- Müller, T., Sauter, M. (Hg.) (2012): *Literature, Ecology, Ethics. New Trends in European Ecocriticism*, Heidelberg: Universitätsverlag Winter.
- Reller, A., Dießenbacher J. (2015): Are There Enough Resources for Our Lifestyle? How Resource Strategy Leads From Wasting Materials to Using Them, in: Stebbing P., Tischner U. (Hg.): *Changing Paradigms: Designing for a Sustainable Future*, Finnland: Aalto University School of Arts, Design and Architecture, S. 156-166.
- Rauch, T., Schmidt, M., Segebart D. (2014): New rural dynamics and challenges in the Global South, *Geographica Helvetica* 69 (4), S.225-226.
- Schliephake, C. (2014): *Urban Ecologies – City Space, Material Agency, and Environmental Politics in Contemporary Culture (Environmental Theory and Practice)*, Lanham, MD: Lexington Books.
- Seefried, E. (2015): Rethinking Progress. On the Origin of the Modern Sustainability Discourse, 1970-2000, in: *Journal of Modern European History* 13 (3), S. 377-399.
- Soentgen, J. (2014): Hot air: The science and politics of CO<sub>2</sub>, in: *Global Environment* 7, S. 134-171.
- Wehling, P., Viehöver, W., Keller, R. (2005): Wo endet die Natur, wo beginnt die Gesellschaft? Doping, Genfood, Klimawandel und Lebensbeginn: die Entstehung kosmopolitischer Hybride, in: *Soziale Welt* 56 (2/3), S. 137-158.
- Wehling, P., Viehöver, W., Keller, R., Lau, C. (2007): Zwischen Biologisierung des Sozialen und neuer Biosozialität: Dynamiken der biopolitischen Grenzüberschreitung, in: *Berliner Journal für Soziologie* 17, S. 547-567.

## Environmental Humanities

- Viehöver, W (2010): Governing the Planetary Greenhouse in Spite of Scientific Uncertainty, in: *Science, Technology Innovation Studies* 6 (2), S. 127-154.
- Zapf, H. (Hg.) (2008): *Kulturökologie und Literatur. Ein transdisziplinäres Paradigma der Literaturwissenschaft*, Heidelberg: Winter.
- Zapf, H. (2016): *Literature as Cultural Ecology: Sustainable Texts*, London u. a.: Bloomsbury.
- Zapf, H. (Hg.) (2016): *Handbook of Ecocriticism and Cultural Ecology*, Berlin: De Gruyter.



# WISSENSVERMITTLUNG UND ANWENDUNG

86 Arbeitskreis Nachhaltigkeit

90 Disziplinübergreifende Lehrveranstaltungen

# Arbeitskreis Nachhaltigkeit

## PROJEKTTEAM

- Thomas Cyris  
thomas.cyris@zv.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 4963
- Dr. Simon Meißner  
meissner@wzu.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 3562
- PD Dr. Claudia Schmidt  
schmidt@wzu.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 3575
- PD Dr. Jens Soentgen  
soentgen@wzu.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 3560

## PROJEKT BETEILIGTE/ WEITERE MITGLIEDER DES ARBEITSKREISES

- Franziska Bauer  
Franziska.bauer@phil.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 5605
- Ariane Lubberger  
ariane.lubberger@wzu.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 3575
- Wolfgang Reiber  
wolfgang.reiber@physik.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 3408

## FREIE MITARBEIT DES ALLGEMEINEN STUDIERENDENAUSSCHUSSES (ASTA)

- Seraja Bock  
umwelt@asta.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 5168

- Ann-Kathrin Rau  
umwelt@asta.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 5168

## BETEILIGTE STUDIERENDENVERTRETUNGEN

- Fachschaft Geographie

## HOMEPAGE

- [www.uni-augsburg.de/ak/nachhaltigkeit](http://www.uni-augsburg.de/ak/nachhaltigkeit)

## Worum geht es?

Der im Jahr 2011 gegründete Arbeitskreis Nachhaltigkeit hat zum Ziel, nachhaltige Inhalte und Prozesse an der Universität Augsburg voranzutreiben, zu vermitteln und durch Projekte zu fördern. Dies bezieht sich insbesondere auf Abläufe und Strukturen in der Administration und Verwaltung, jedoch auch auf die Motivation der Beschäftigten und Studierenden.

Um Nachhaltigkeit in Forschung und Lehre authentisch vermitteln zu können, bedarf es der Implementierung zukunftsfähigen Denkens und Handelns auf dem eigenen Campus. Dies möchte der Arbeitskreis unterstützen. Eine geeignete Möglichkeit für den Arbeitskreis, Nachhaltigkeit langfristig umzusetzen, ist es, sich anhand von Schwerpunktthemen durch Projekte zu engagieren. Diese beziehen sich auf umfassende Bereiche wie Optimierungen im Bereich des Energie- und Stoffstrommanagements sowie auf die Umsetzung einer nachhaltigen Entwicklung im „Campusleben“. Die Mitglieder des Arbeits-

## Arbeitskreis Nachhaltigkeit

kreises haben verschiedene Schwerpunkte festgesetzt und eine personelle Zuordnung vorgenommen, welche die Durchführung mehrerer Projekte parallel ermöglicht. Mit dieser Vorgehensweise können Aktivitäten für unterschiedliche Zielgruppen und verschiedene Prozesse kontinuierlich weiter ausgebaut werden.

### Durchführung und Ergebnisse

Der Arbeitskreis engagiert sich auf mehreren Ebenen: zum einen Uni-intern mit Projekten, welche nachhaltige Prozesse in der Administration sowie auf Gebäude- und Beschäftigtenebene anstoßen, zum anderen mit Aktivitäten, welche in Zusammenarbeit mit Studierenden verwirklicht werden. Nachfolgend werden zentrale Projekte der Aktivitäten des Arbeitskreises erläutert.

### Durchführung des „ÖKOPROFIT – Wirtschaftsraum A3“ am Rechenzentrum

Zur Verbesserung des betrieblichen Umweltschutzes von Firmen und Behörden wird seit einigen Jahren das Umweltschutzmanagementsystem ÖKOPROFIT durch die Stadt Augsburg und weitere Kooperationspartner (u.a. Bayerisches Landesamt für Umwelt, IHK Schwaben) angeboten. Dabei sollen für Teilnehmer unter fachkundiger Beratung praxisnahe Maßnahmen zur ökologischen und ökonomischen Verbesserung erarbeitet und umgesetzt werden.

Die Universität Augsburg führte bereits 2004, auf die Initiative des WZU hin, sowohl für das „Innocube“ (Gebäude U) als auch für das Sportzentrum (Gebäude V) dieses Umweltschutzmanagementsystem mit Optimie-

rungsmaßnahmen durch. Die Zentralbibliothek und die Teilbibliothek Geisteswissenschaften konnten im Jahr 2007 im Rahmen des ÖKOPROFIT ebenfalls analysiert und verbessert werden.

Aufbauend auf diese Erfahrungen wurde vom Arbeitskreis Nachhaltigkeit 2014 das Rechenzentrum als zentrale Einrichtung mit vielfältigen spezifischen Material- und Energieverbräuchen als besonders wichtiger und interessanter Dreh- und Angelpunkt benannt, um Einsparpotentiale im Sinne der Ressourcenschonung und Optimierung der Betriebsabläufe zu ermitteln. Vorteil ist, dass der besondere Fokus der energetischen Betrachtung von Betriebsabläufen auch für weitere Bereiche der Universität wichtige Ansatzpunkte zur Optimierung und Einsparung liefern wird. Eine Projektgruppe aus Mitgliedern des Rechenzentrums, des Arbeitskreises Nachhaltigkeit sowie der Abteilung „Bau und Technik“ wurde daraufhin gebildet und im März 2015 konnte mit dem externen Auditor der erste Workshop abgehalten werden. Drei weitere Vor-Ort-Termine wurden anschließend mit folgenden Schwerpunkten durchgeführt:

- Sammlung und Auswertung der vorhandenen Datenbasis
- Erfassung der Hauptenergieverbräuche
- Besichtigung des Rechenzentrums mit Schwerpunkt Maschensaal sowie der CIP-Räume
- Bewertung und Erfüllung der Unterlagen und Anforderungen – insbesondere rechtlicher – zur Vorbereitung der Kommissionsprüfung

Die im Rahmen der Workshops erarbeiteten Ergebnisse und resultierenden Maßnahmen wurden vom externen

## Arbeitskreis Nachhaltigkeit



*Das OEKOPROFIT-Team v. l. n. r.: Tom Cyris, Dr. Simon Meißner, Lisa Badzung, Dr. Markus Zahn, Dr. Michael Westerburg, Thomas Stempfle ist nicht abgebildet.*

Auditor (Arqum GmbH) in Abstimmung mit dem Projektteam dargelegt und werden anschließend nach den vorhandenen Möglichkeiten umgesetzt. Dazu gehören u.a. die Durchführung einer energetischen Inspektion für Klima- und Lüftungsanlagen des Rechenzentrums, die detaillierte Erfassung einzelner Hauptenergieverbraucher durch Einführung eines geeigneten Messsystems sowie die Optimierung der Beleuchtungskörper etc. Das Umweltamt der Stadt Augsburg führte im April 2016 die Kommissionsprüfung am Rechenzentrum durch, so dass das ÖKOPROFIT-Team nach positivem Verlauf am 31. Mai 2016 die Zertifizierung des Rechenzentrums als „ÖKOPROFIT-Betrieb“ durch den Umweltreferenten der Stadt Augsburg entgegen nehmen konnte. Während der Projektdurchführung konnten insbesondere Aspekte und

Fragestellungen des Energiemanagements betrachtet und z.T. bereits direkt optimiert werden. Hierbei werden die Systemgrenzen nicht auf das Rechenzentrum beschränkt bleiben, sondern auf gesamtuniversitäre Prozesse ausgeweitet. Der Arbeitskreis Nachhaltigkeit wird diese Entwicklung zielstrebig mitbegleiten.

### „Papier als Ressource“

Eine Projektgruppe des Arbeitskreises beschäftigt sich derzeit mit dem Stoffstrom Papier und seiner Verwendung. Hierbei soll der gesamte Kreislauf von Beschaffung, Nutzung und Recycling unter dem Aspekt einer nachhaltigen Entwicklung im Universitätsalltag ermittelt, bewertet und verbessert werden. Um das Thema in den Fokus der Beschäftigten und Studierenden zu bringen, wird angedacht, eine Posterausstellung parallel zur „Papierwende“ an die Universität Augsburg zu holen. Einsparungen im Verbrauch von Druckmaterialien konnten bereits in den letzten Jahren bewirkt werden. Insbesondere die Auflagen des Telefon- sowie des Personenverzeichnisses konnten um bis zu 40 % reduziert werden. Weiterhin werden in einigen Fakultäten die Raumübersichtspläne für anstehende Prüfungszyklen schwerpunktmäßig elektronisch verteilt.

Im Juni 2016 wurde am WZU ein von den Firmen Toshiba und Feha entwickeltes Druckverfahren präsentiert, bei welchem eine mehrmalige Wiederverwendung des Druckpapiers möglich ist. Verantwortlich hierfür ist der Einsatz eines temperaturempfindlichen Toners, der mittels Hitzebehandlung unsichtbar wird. Der Arbeitskreis erörtert die Möglichkeiten, ein solches Verfahren in einer geschlossenen Arbeitseinheit der Universität zu tes-



## Arbeitskreis Nachhaltigkeit

ten. In einem solchen Testlauf müsste zunächst eruiert werden, ob das Verfahren wirtschaftlich läuft (Papiereinsparung vs. höhere Anschaffungskosten eines derartigen Gerätes) und ob es von den Nutzern tatsächlich nachgefragt wird.

Für die Durchführung der Projekte konnte erneut auf die Zusammenarbeit mit der Zentralverwaltung der Universität Augsburg gezählt werden. Der Arbeitskreis möchte sich bei allen unterstützenden Kontaktpersonen und insbesondere bei den Mitarbeitern des Referats Gebäudemanagement und bei Frau Reiser, Referat III/4 der Abteilung „Haushalt- und Beschaffungswesen“, für die Kooperation und Projektideen bedanken.

# Disziplinübergreifende Lehrveranstaltungen

## PROJEKTTEAM

- Dr. Oliver Böhm  
oliver.boehm@geo.uni-augsburg.de  
0821 598 2667
- Nicolas Liebig  
n.liebig@lpv-augsburg.de  
0821 324 6054

## PROJEKTPARTNER

- Landesamt für Digitalisierung,  
Breitband und Vermessung

Am WZU werden zahlreiche disziplinübergreifende Lehrveranstaltungen durchgeführt, vielfach in Kooperation mit externen Partnern wie etwa dem LfU. Exemplarisch stellen wir hier die Lehrveranstaltung „Historische Umweltforschung“ vor.

Die Landnutzungsänderungen im Augsburger Stadtwald waren Thema des interdisziplinären Projektseminars „Historische Umweltforschung“ am Lehrstuhl für Physische Geographie und Quantitative Methoden im Sommersemester 2016. Im Vorfeld dieser Lehrveranstaltung fand ein Vortrag von Nicolas Liebig statt, der auf Einladung des WZU das Forschungspotential „Stadtwald Augsburg“ thematisierte. Dieser Vortrag war letztendlich Inspiration für die Inhalte des Projektseminars sowie zu einem „Joint Venture“ mit dem Landschaftspflegeverband. Erklärtes Ziel war ein thematisches, disziplinübergreifendes Stadtwald-Wiki zum Thema Land-use Change, welches mit der Website WasserLeben-Augsburg ([www.wassererleben-augsburg.de](http://www.wassererleben-augsburg.de))

verlinkt werden soll (die technische Umsetzung steht noch aus). Besonderer Fokus lag auf der Wassernutzung des Stadtwaldes mit seinen Bächen und Kanälen, die von alters her größte Bedeutung für die Trink- wie Brauchwassernutzung der Stadt Augsburg hat. Die zahlreichen Wasserläufe unterlagen im Laufe der Zeit einem räumlichen und nutzungsbedingten Wandel und spielen hinsichtlich ihrer historischen Bedeutung für die Stadt Augsburg eine zunehmende Rolle im Rahmen der UNESCO-Welterbe Bewerbung. Ergänzend zu den diesbezüglichen Vorarbeiten von Herrn Liebig wurde der räumliche Wandel anhand der bayerischen Uraufnahme (1808-1864) erweitert. In Abbildung 1 ist die anthropogene Überprägung der um 1810 noch naturnahen Flusslandschaft des Lechs exemplarisch dargestellt. Die rote Signatur verbildlicht den rezenten Verlauf des Lechs an Kuhsee und Hochablaß.

Neben dem räumlichen Wandel der „städtischen Wasserläufe“ wurden im Sinne einer disziplinübergreifenden Retrospektive folgende Inhalte für das Stadtwald-Wiki diskutiert und erhoben: Stadt(-wald) - Geschichte, das Ökosystem im Kontext der Hemerobie (i.e. der Wirkung menschlichen Eingreifens) vom Neolithikum über erste Eingriffe durch die Römer bis zur gegenwärtigen anthropogenen Überprägung und Renaturierung, Landschaftspflege (u.a. Erhalt der Lechheiden) sowie die geographischen Teildisziplinen Biogeographie (Flora und Fauna), Hydrologie, Geomorphologie und Bodengeographie. Der Landschaftspflegeverband unterstützte diese Veranstaltung während des Semesters. Rahmenflurkarten und Positionsblätter wurden darüber hinaus vom Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung bereitgestellt.

## Disziplinübergreifende Lehrveranstaltungen

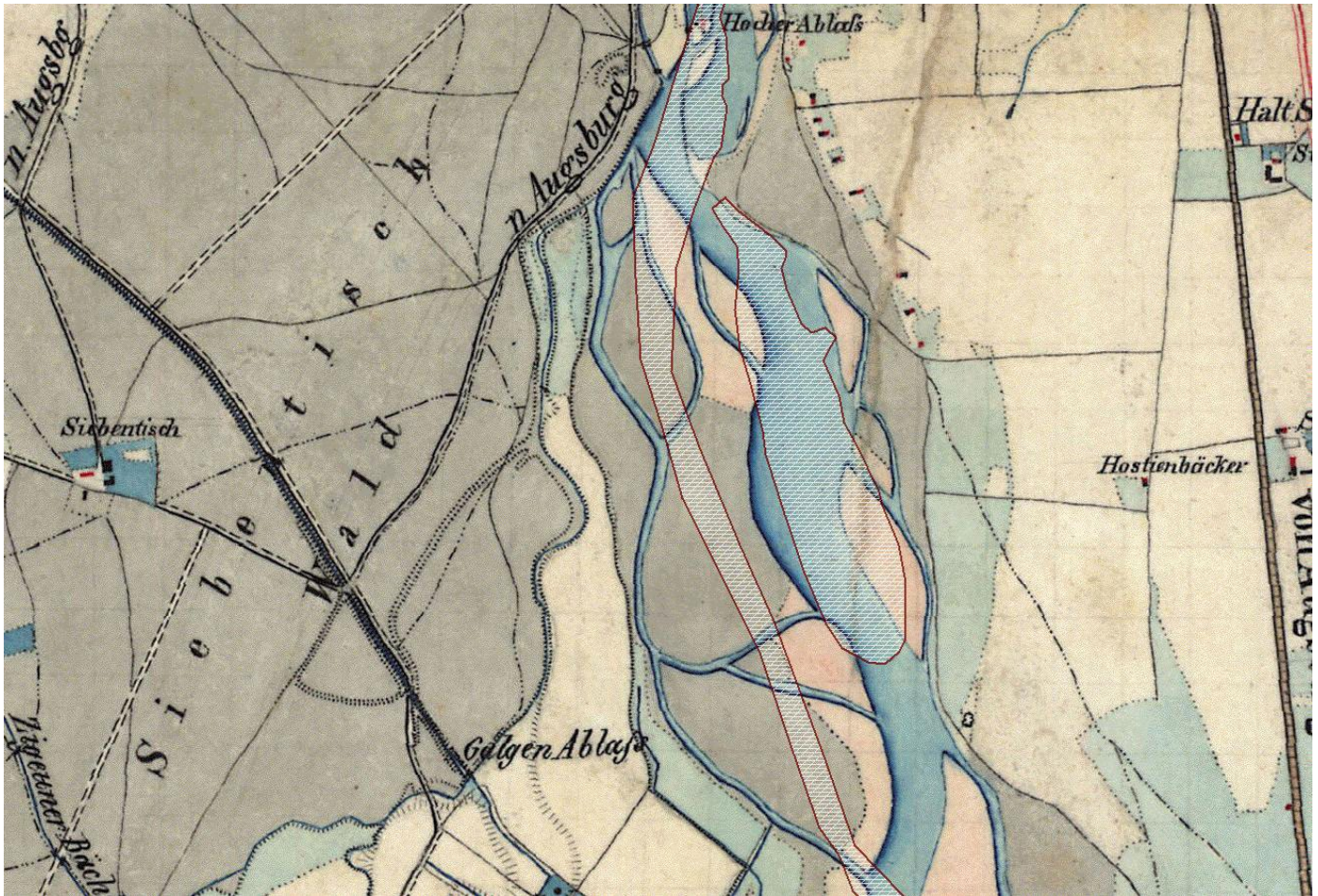


Abb. 1: Landnutzungsänderung am Lech bei Augsburg, Positionsblatt Nr. 636, Haunstetten 1862 (Geobasisdaten © Bayerische Vermessungsverwaltung) mit rezenter Situation des Lechs mit Kuhsee (roter Rahmen, weiße Schraffur).

# IM GESPRÄCH

mit Prof. Dr. Dr. h. c. mult. Gerhard Ertl





# Im Gespräch mit Prof. Dr. Dr. h. c. mult. Gerhard Ertl

*Prof. Dr. Dr. h. c. mult. Gerhard Ertl studierte Physik und arbeitet seit seiner Promotion auf dem Gebiet der physikalischen Chemie. Nach Lehrstuhlleitungen in Hannover und München und mehreren Gastprofessuren in den USA war er von 1986 bis 2004 als Direktor der Abteilung Physikalische Chemie des Fritz-Haber-Institutes in Berlin tätig. Von 1995 bis 2001 war er Vizepräsident der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG). Für seine herausragende Forschung wurde er vielfach ausgezeichnet. Im Jahr 2007 erhielt er den Nobelpreis für Chemie für seine Pionierarbeiten auf dem Gebiet der Oberflächenchemie, der Katalyse und insbesondere für die Entschlüsselung des Mechanismus der Haber-Bosch-Synthese.*

*Im April 2016 kam Gerhard Ertl nach Augsburg. Der neu erschienene Band „N. Stickstoff – ein Element schreibt Weltgeschichte“ der Reihe „Stoffgeschichten“, den er zusammen mit Jens Soentgen herausgegeben hat, war Anlass für seinen Besuch. Mit seinem Festvortrag an der Universität über die Bedeutung der Stickstoffsynthese begeisterte Gerhard Ertl die mehr als 250 Zuhörerinnen und Zuhörer. Das anlässlich seines Besuchs von der Augsburger Allgemeinen geführte Interview („Das Mittel gegen Hungersnöte“, 26.04.2016) ist im Folgenden leicht gekürzt abgedruckt.*

*Herr Professor Ertl, haben Sie sich heute schon mit Stickstoff beschäftigt?*

**Ertl:** In dem Augenblick, in dem ich atme, habe ich damit zu tun. Denn Luft besteht zu 80 Prozent aus Stickstoff. Auch heute Morgen beim Frühstück hatte ich Stickstoffverbindungen auf dem Teller. In Brötchen sind Proteine drin, und die enthalten Stickstoff.

*Wie wichtig ist Stickstoff für das Leben auf der Erde?*

**Ertl:** Stickstoff ist der Motor allen biologischen Wachstums. Ohne ihn könnten Pflanzen nicht wachsen und Ernten nicht reifen. Jede Nahrung, die wir aufnehmen, enthält Stickstoffverbindungen. Das Problem ist, dass Stickstoff in der Luft zwar reichlich vorhanden ist, er kann von Pflanzen und Tieren aber nicht direkt verwertet werden. Nur einige Bakterien sind in der Lage ihn zu binden. Reaktiver Stickstoff, der als Dünger wirkt, ist in der Natur aber knapp.

*Wie macht man Luftstickstoff für Menschen nutzbar?*

**Ertl:** Aus Stickstoff kann man Dünger herstellen, um Nahrungsmittel zu produzieren. Das wurde in der Zeit um 1900 wichtig. Damals hat man erkannt, dass man die Menschen mit traditionellem Ackerbau alleine nicht mehr ernähren kann. Mit der Industrialisierung setzte ein starkes Bevölkerungswachstum ein. Man brauchte ein Verfahren, um künstliche Düngemittel zu erzeugen. Das hat Fritz Haber 1909 im Labor entwickelt.

*Was hat er gemacht?*

**Ertl:** Er stellte aus den Elementen Stickstoff und Wasserstoff Ammoniak her, die Grundlage für chemisch erzeugten Dünger. 1913 nahm bei der BASF die erste industrielle Anlage ihren Betrieb auf. Maßgeblich beteiligt war Carl Bosch. Deshalb spricht man heute vom Haber-Bosch-Verfahren.

*Wie bedeutend war die Entdeckung?*

**Ertl:** Die Verbindung zwischen zwei Stickstoffatomen ist die stabilste chemische Verbindung. Um sie aufzubrechen, braucht man ein Katalyse-Verfahren. Viele

## Im Gespräch mit Prof. Dr. Dr. h. c. mult. Gerhard Ertl

Forscher haben sich daran versucht und sind gescheitert. Der Durchbruch gelang erst Fritz Haber und Carl Bosch. Beide wurden mit dem Nobelpreis geehrt.

*Sie haben diesen Preis ebenfalls bekommen, aber wesentlich später ...*

**Ertl:** Wissenschaftlern war lange der Mechanismus des Haber-Bosch-Verfahrens nicht klar. Mir ist es gelungen, die einzelnen Schritte aufzuzeigen. Für die vollständige theoretische Erklärung erhielt ich 2007 den Nobelpreis für Chemie.

*Die Entdeckung von Haber ist lange her, ist sie heute noch von Bedeutung?*

**Ertl:** Wenn es das Haber-Bosch-Verfahren nicht gäbe, würden heute rund 30 Prozent der Weltbevölkerung verhungern, weil es nicht genug Nahrungsmittel gäbe. Ammoniak ist nach wie vor die Grundlage um Düngemittel zu erzeugen, auch wenn die Verfahren weiterentwickelt wurden. Das gilt beispielsweise auch für Blaukorn, das viele Hobbygärtner verwenden.

*War die Entdeckung also ein großer Gewinn für die Menschheit, oder hatte sie auch schlimme Folgen?*

**Ertl:** Allerdings. Aus Ammoniak kann man auch Salpeter herstellen. Dieser ist wiederum das Ausgangsprodukt für Schwarzpulver. Insofern hat das Element Stickstoff Weltgeschichte geschrieben. Hätte es das Haber-Bosch-Verfahren nicht gegeben, hätte der Erste Weltkrieg wohl nur ein halbes Jahr gedauert, weil es nicht genug Munition gegeben hätte. Denn bis dahin musste Salpeter per Schiff aus Chile importiert werden. Der Seeweg für die Deutschen war damals blockiert. Durch das neue Verfah-

ren konnte man den Grundstoff für Schießpulver industriell herstellen, was wiederum direkte Auswirkungen auf das Kriegsgeschehen hatte.

*Sie haben ein neues Buch über Stickstoff herausgegeben, zusammen mit Jens Soentgen, dem wissenschaftlichen Leiter des Wissenschaftszentrums Umwelt (WZU) der Uni Augsburg. Warum?*

**Ertl:** Der Titel lautet „Stickstoff - ein Element schreibt Weltgeschichte“. Er war Programm für rund 20 beteiligte Autoren. Sie schreiben über die Zusammenhänge von Naturwissenschaft und Geschichte und bringen viele Alltagsbeispiele. Ich habe mich an dem Buch als Herausgeber beteiligt und war einer der Autoren. Als ich angesprochen wurde, ob ich bei dem Projekt mitmachen will, habe ich gerne zugesagt – auch deshalb, weil ich Professor Armin Reller gut kenne, den Vorstandssprecher des WZU. Ich glaube aber auch, das Buch ist von allgemeinem Interesse, weil es das tägliche Leben der Menschen betrifft.

*Beschäftigt sich das Buch auch mit Gegenwart und Zukunft?*

**Ertl:** Ein Thema sind aktuelle Umweltprobleme. Beispielsweise werden sehr viel mehr Düngemittel ausgebracht als der Boden aufnehmen kann. Der Großteil landet dann im Wasser, was ein übermäßiges Algenwachstum in Seen und Meeren auslösen kann.

*Welche Leser wollen Sie erreichen?*

**Ertl:** Die Autoren richten sich mit ihren Beiträgen vor allem an interessierte Laien. Dieses Konzept gilt auch für die anderen Bücher, die in der Reihe „Stoffgeschichten“



## Im Gespräch mit Prof. Dr. Dr. h. c. mult. Gerhard Ertl

des Wissenschaftszentrums Umwelt erscheinen.

*Sie kommen persönlich nach Augsburg, um das Werk vorzustellen, was erwartet die Gäste?*

**Ertl:** Ich werde nicht nur über das Buch sprechen, sondern ganz generell einen Vortrag über Stickstoff als lebenswichtiges Element halten.

*Sie kommen aus Berlin nach Augsburg, haben Sie eine Verbindung zu Schwaben?*

**Ertl:** Ich bin Schwabe, ein gebürtiger Stuttgarter. Seit 30 Jahren bin ich als Wissenschaftler in Berlin tätig. Aus meiner Zeit an der Ludwig-Maximilians-Universität in München habe ich aber noch gute Verbindungen nach Bayern. Ich komme immer wieder gerne. In Augsburg war ich beruflich zweimal, das erste Mal 1968 bei einer Tagung.

*Die Fragen stellte Eva Maria Knab,  
Augsburger Allgemeine.*



## **DAS WZU**

**97** Profil

**98** Das Team am WZU

**99** Die Mitglieder des WZU

**103** Aktuelle Publikationen

# Profil

Nachhaltigkeitsfragen entstehen oft im Grenzgebiet wissenschaftlicher Disziplinen und an den Grenzen von Wissenschaft und Gesellschaft. Das Wissenschaftszentrum Umwelt der Universität Augsburg führt daher die umweltwissenschaftlichen Kompetenzen der Universität Augsburg zusammen und verbindet sie mit externen Forschungsinstitutionen sowie mit den im Umweltbereich tätigen Institutionen, NGOs und Unternehmen. Die Initiative für die Gründung des WZU ging im Jahr 2000 von WissenschaftlerInnen aus natur- und sozialwissenschaftlichen sowie geisteswissenschaftlichen Disziplinen der Universität Augsburg aus, die durch fächerübergreifende Arbeit innovative, anwendungsorientierte Ergebnisse in der Nachhaltigkeitsforschung erzielen wollten.

Mittlerweile gehören mehr als 70 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler zum Kreis der WZU-Mitglieder. Das WZU ist seit 2016 eine Zentrale Einrichtung der Universität Augsburg.

Durch die vielfältigen Erfahrungen und Kompetenzen der WZU-Mitglieder entfaltet sich in unseren Projekten, in Mitgliederversammlungen und Tagungen die Produktivkraft des interdisziplinären Dialogs. Die offene und kreative Netzwerk-Atmosphäre ist die wesentliche Stärke unserer Einrichtung. In ihr entstehen neue Ideen, und, wenn alles glücklich läuft, aus diesen Ideen wegweisende Projekte. So zum Beispiel die Entwicklung von webbasierten Risikokartierungen, ressourcenstrategische Konzepte für Politik und Unternehmen oder auch Energiekonzepte für Kommunen. Im Bereich Umwelt und Gesundheit sind wir mit mehreren Partnern aus Medizin und Epidemiologie besonders im Bereich der Expositions-

forschung aktiv. Neben umweltnaturwissenschaftlichen Projekten sind uns die Environmental Humanities ein zentrales Anliegen. So ist das WZU mit vielen Lehrveranstaltungen an dem Masterstudiengang Umweltethik beteiligt.

Wir versuchen, innovative, disziplinübergreifende Projekte zu ermöglichen, indem wir strukturelle und finanzielle Hürden aus dem Weg räumen. Das gelingt, indem wir Vertrauen über die Grenzen von Disziplinen, Fakultäten und Institutionen hinweg schaffen. Davon profitieren Forschung und Lehre an der Universität Augsburg: Aus der Kooperation am WZU ist beispielsweise der von Prof. Armin Reller entwickelte Forschungsschwerpunkt Ressourcenstrategie hervorgegangen, der heute zum Profil der Universität Augsburg beiträgt. Auch der Forschungsschwerpunkt Umwelt und Gesundheit (Environmental Health Sciences) der zukünftigen Medizinischen Fakultät basiert wesentlich auf den seit 2004 aufgebauten Forschungsaktivitäten, Forschungsnetzwerken und Forschungskonzepten des WZU.

In der Lehre erproben wir neue Methoden – insbesondere rund um unser Konzept der Stoffgeschichten – und entwickeln disziplinübergreifende Seminare, Vorlesungen und Studiengänge. Das bereichert seit Jahren die Ausbildung von Studierenden nicht nur der Physik, sondern auch der Geographie, der Geisteswissenschaften und der Medienwissenschaften.

# Das Team am WZU

## Vorstand

Prof. Dr. Armin Reller, Sprecher  
Prof. Dr. Jucundus Jacobeit  
Prof. Dr. Marita Krauss  
PD Dr. Jens Soentgen

## Sekretariat

Regina Rott

## Wissenschaftliche Mitarbeiter

Christian Böckenholt  
Dr. Josef Cyrus  
Dr. Julia Fendt  
Dr. Jianwei Gu  
Severin Kaspar  
Thomas Kusch (Messtechniker)  
Dr. Regina Pickford  
Dr. Stefanie Seubert  
PD Dr. Jens Soentgen  
Prof. Dr. Dr. Bernd Wagner  
(Scientific Director)  
Stefan Weishaupt

## Wissenschaftliche und studentische Hilfskräfte

Sandra Burger  
Marina Ederer (ForCycle)  
Stefan Fendt  
Julia Gamradt (ForCycle)  
Michael Schweiger

## Lehrstuhl Ressourcenstrategie am WZU

Prof. Dr. Armin Reller, Lehrstuhlinhaber  
Prof. Dr. Richard Weihrich  
Renate Diessenbacher, Sekretariat  
Dr. Oliver Gantner  
Sebastian Haumann  
Oscar Klier  
Korbinian Koehler  
Ariane Lubberger  
Dr. Simon Meißner  
Dr. Florian Pielnhöfer  
PD Dr. Claudia Schmidt  
Dr. Andrea Thorenz  
Dr. Volker Zepf  
Sophie Zocholl

# Die Mitglieder des WZU

## **Prof. em. Dr. Helmut Altenberger \***

Zentralinstitut für didaktische Forschung und Lehre,  
Institut für Sportwissenschaft, Universität Augsburg

## **Prof. Dr. Elisabeth André**

Institut für Informatik, Universität Augsburg

## **Prof. Dr. Wassilios Baros**

Lehrstuhl für Pädagogik, Universität Augsburg

## **PD Dr. Christoph Beck**

Institut für Geographie, Universität Augsburg

## **Dr. Ulrike Beyer**

Institut für Geographie, Universität Augsburg

## **Prof. Dr. Helena Bilandzic**

Institut für Medien, Wissen und Kommunikation,  
Universität Augsburg

## **Prof. Dr. Michael Bittner**

DLR, Earth Observation Center

## **PD Dr. Stefan Böschen**

Karlsruher Institut für Technologie (KIT),  
Institut für Technikfolgenabschätzung und  
Systemanalyse (ITAS)

## **Prof. Dr. Klaus Bredl**

Institut für Medien, Wissen und Kommunikation,  
Universität Augsburg

## **Thomas Cyris**

Sicherheitsingenieur, Universität Augsburg

## **Prof. Dr. Ulrich Eckern**

Institut für Physik, Universität Augsburg

## **Prof. Dr. Stefan Emeis**

Karlsruher Institut für Technologie (KIT),  
Institut für Meteorologie und Klimaforschung -  
Institut für Atmosphärische Umweltforschung (IMK-IFU)

## **Dr. Martinus Fesq-Martin**

Institut für Geographie, Universität Augsburg

## **Prof. Dr. Peter Fiener**

Institut für Geographie, Universität Augsburg

## **Prof. Dr. Arne Friedmann**

Institut für Geographie, Universität Augsburg

## **PD Dr. Sven Grashey-Jansen**

Institut für Geographie, Universität Augsburg

## **RD Klaus Hager**

Institut für Geographie, Universität Augsburg

## **Dr. Riyaz Haider**

Firma BioSustain, Augsburg/Dar-es-Salaam

## **Prof. Dr. Thomas Hamacher \***

TU München, Lehrstuhl für Energiewirtschaft  
und Anwendungstechnik

\* korrespondierendes Mitglied

## Die Mitglieder des WZU

### **Dr. Eckhard Hartmann \***

Fachgruppe Biologie, Universität Augsburg

### **Dr. Wolfgang Hatz \***

Institut für Geographie, Universität Augsburg

### **Prof. Dr. Thomas Hausmanninger \***

Katholisch-Theologische Fakultät, Universität Augsburg

### **Dr. Thomas Henschel**

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)

### **PD Dr. Elke Hertig**

Institut für Geographie, Universität Augsburg

### **PD Dr. Markus Hilpert**

Institut für Geographie, Universität Augsburg

### **Dr. Gabriele Höfner \***

Marketing/Fundraising, Präsidium, Universität Augsburg

### **Dr. Ulrich Hohoff \***

Direktor Universitätsbibliothek, Universität Augsburg

### **Prof. Dr. Ronald H.W. Hoppe**

Institut für Mathematik, Universität Augsburg

### **Prof. Dr. Siegfried Horn**

Institut für Physik, Universität Augsburg

### **Prof. Dr. Jucundus Jacobeit**

Institut für Geographie, Universität Augsburg

### **Prof. Dr. Reiner Keller**

Lehrstuhl für Soziologie, Universität Augsburg

### **Prof. Dr. Martin Kment**

Juristische Fakultät, Universität Augsburg

### **Prof. Dr. Marita Krauss**

Philologisch-Historische Fakultät, Universität Augsburg

### **Prof. Dr. Jukka M. Krisp**

Institut für Geographie, Universität Augsburg

### **Prof. Dr. Harald Kunstmann**

Karlsruher Institut für Technologie (KIT),  
Institut für Meteorologie und Klimaforschung -  
Institut für Atmosphärische Umweltforschung (IMK-IFU)  
Institut für Geographie, Universität Augsburg

### **Prof. Dr. Christoph Lau (i. R.)**

Institut für Soziologie, Universität Augsburg

### **Dr. Stefan Lindl**

Philologisch-Historische Fakultät, Universität Augsburg

### **Prof. Dr. Alois Loidl**

Institut für Physik, Universität Augsburg

### **Dr. Luitgard Marschall \***

Lehrstuhl für Ressourcenstrategie

### **Prof. Dr. Johannes Masing**

Institut für Öffentliches Recht, Universität Freiburg

\* korrespondierendes Mitglied



## Die Mitglieder des WZU

### **Prof. Dr. Eva Matthes**

Lehrstuhl für Pädagogik, Universität Augsburg

### **Dr. Simon Meißner**

Lehrstuhl für Ressourcenstrategie, Universität Augsburg

### **Prof. Dr. Peter Michaelis \***

Institut für Volkswirtschaftslehre, Universität Augsburg

### **PD Dr. Timo Müller**

Lehrstuhl für Amerikanistik, Universität Augsburg

### **Prof. Dr. Ulrike Ohl**

Institut für Geographie, Universität Augsburg

### **Prof. em. Dr. Gerd Peyke**

Institut für Geographie, Universität Augsburg

### **PD Dr. Andreas Philipp**

Institut für Geographie, Universität Augsburg

### **Dr. Joachim Rathmann**

Institut für Geographie, Universität Augsburg

### **Prof. Dr. Armin Reller**

Institut für Physik, Universität Augsburg

### **Prof. Dr. Thomas Rist**

Fakultät für Informatik, Hochschule Augsburg

### **Prof. em. Dr. Franz Schaffer**

Institut für Geographie, Universität Augsburg

### **Prof. Dr. Lothar Schilling**

Philologisch-Historische Fakultät, Universität Augsburg

### **Dr. Walter Schindler**

München

### **Dr. Christopher Schliephake**

Philologisch-Historische Fakultät, Universität Augsburg

### **PD Dr. Claudia Schmidt**

Lehrstuhl für Ressourcenstrategie, Universität Augsburg

### **Prof. Dr. Matthias Schmidt**

Institut für Geographie, Universität Augsburg

### **Prof. em. Dr. Reiner Schmidt \***

Juristische Fakultät, Universität Augsburg

### **Prof. Dr. Ing. Christine Schwaegerl**

Fakultät für Elektrotechnik, Hochschule Augsburg

### **Prof. Dr. Elke Seefried**

Philologisch-Historische Fakultät, Universität Augsburg

### **Dr. Stefanie Seubert**

Wissenschaftszentrum Umwelt, Universität Augsburg

### **Prof. Dr. Natascha Sojc**

Lehrstuhl für Klassische Archäologie,  
Universität Augsburg

\* korrespondierendes Mitglied

## Die Mitglieder des WZU

### **Prof. em. Dr. Bernd Stritzker \***

Institut für Physik, Universität Augsburg

### **Dr. Markus Strobel**

Institut für Management und Umwelt, Augsburg

### **Dr. Peter Suppan**

Karlsruher Institut für Technologie (KIT),  
Institut für Meteorologie und Klimaforschung -  
Institut für Atmosphärische Umweltforschung (IMK-IFU)

### **Prof. Dr. Sabine Timpf**

Institut für Geographie, Universität Augsburg

### **Prof. Dr. Axel Tuma**

Institut für Materials Resource Management,  
Universität Augsburg

### **Prof. Dr. Uwe Voigt**

Lehrstuhl für Philosophie, Universität Augsburg

### **Prof. Dr. Bernd Wagner**

Wissenschaftszentrum Umwelt, Universität Augsburg

### **Prof. Dr. Christoph Weller**

Institut für Politikwissenschaft, Universität Augsburg

### **Frank Werner**

Director WEC Europe,  
World Environment Center, München

### **Prof. Dr. Karl-Friedrich Wetzel**

Institut für Geographie, Universität Augsburg

### **Prof. Dr. Hubert Zapf**

Philologisch-Historische Fakultät, Universität Augsburg

### **Dr. Thomas Ziesemer**

Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät,  
Universität Augsburg

### **Prof. Dr. Ralf Zimmermann**

Institut für Chemie, Universität Rostock  
Institut für ökologische Chemie,  
Helmholtz Zentrum München

# Aktuelle Publikationen



Gerhard Ertl  
Jens Soentgen (Hg.)

N

*Stickstoff - ein Element  
schreibt Weltgeschichte*

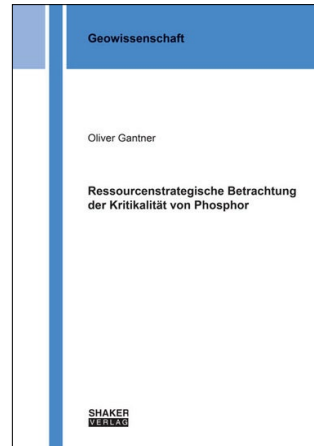
Er ist allgegenwärtig und knapp zugleich: Es dauerte bis zum Vorabend des Ersten Weltkrieges, ehe sich die Menschheit aus der Stickstoff-Falle befreien konnte. Fritz Haber und Carl Bosch erfanden ein Verfahren, mit dessen Hilfe der Stickstoff der Luft gebunden werden konnte, und brachten damit den künstlichen Dünger in die Welt. Was als Siegeszug begann, führte Jahre später zu einer wahren Stickstoffflut, die bis heute Gewässer schädigt, den Klimawandel befeuert und in Form von Nitrat das Trinkwasser beeinträchtigt.

*„Sehr lesenswert!“*

*Thomas M. Klapötke, Angewandte Chemie*

*„(Die Herausgeber) halten ihr Versprechen: Wer das Werk liest, erfährt wirklich ein Stück Weltgeschichte.“*

*Theresa Moebus, Spektrum der Wissenschaft*



Oliver Gantner

**Ressourcen-  
strategische  
Betrachtung der  
Kritikalität von  
Phosphor**

Aufgrund der hohen wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Relevanz von Phosphor stellt sich die Frage nach dessen Ressourcenkritikalität. Neben den rohstoffspezifischen Eigenschaften von Phosphor liegt der Fokus insbesondere auf dessen Funktionen und damit verbundenen Prozessen. Dazu zählen Teilbetrachtungen wie die standortspezifische Analyse der Phosphatminen weltweit sowie das Ressourcenpotential der Begleitstoffe Fluor, Uran, Cadmium und Seltenerdmetalle im Phosphatgestein. Aufgrund relevanter Unterschiede innerhalb der Produktions- und Wertschöpfungskette für die unterschiedlichen Anwendungen von Phosphor wie Düngemittel, Futterphosphat und Phosphor für industrielle Anwendungen wurde die Kritikalität der Funktionen anhand von Fallbeispielen bewertet, wie Lithium-Eisen-Phosphat oder Glyphosat. Dabei wurde ein erheblicher Unterschied zwischen kritischen Rohstoffen und kritischen Funktionen nachgewiesen.

## Aktuelle Publikationen



Michael Schweiger

### Einblicke in die Wasserkraft am Lech

*Arbeit im Spannungsfeld zwischen Ingenieurskunst, Betriebswirtschaft und Umweltschutz*

Wasserkraft zählt unstrittig zu der Liste der wertvollen erneuerbaren Energiequellen und besetzt unter diesen auch den Rang jener mit der längsten Tradition. Gleichsam kommt sie auch immer in den Sinn, wenn Überschwemmungsereignisse die Forderung nach gut ausgebauten Hochwasserschutzmaßnahmen laut werden lassen. Wasserkraftnutzung könnte den Gutteil der Investitionskosten tragen und, als positiven Nebeneffekt, zur Energiewende beitragen. Zur Frage, ob und wie das funktionieren kann, möchte das vorliegende Buch einen Beitrag leisten. Hier wird die nun schon mehr als ein halbes Jahrhundert währende großtechnische Nutzung der Wasserkraft am Lech unter die Lupe genommen, die ihn von einem bisweilen gefährlich reißenden Gebirgsfluss zu einer nahezu vollständig kontrollierten Stauseekette werden ließ.



Armin Reller  
Luitgard Marschall  
Simon Meißner  
Claudia Schmidt (Hg.)

### Ressourcenstrategien

*Eine Einführung in den nachhaltigen Umgang mit Rohstoffen*

Das Thema „zukunftsfähiger Umgang mit Ressourcen“ ist zurzeit hochaktuell. Jedoch gestalten sich die Zusammenhänge immer unübersichtlicher. Um die bisherige Entwicklung nachvollziehen zu können und neue Strategien für einen nachhaltigen Umgang mit Rohstoffen zu entwickeln, müssen disziplinär begrenzte Sichtweisen überwunden werden. Die HerausgeberInnen unternehmen daher eine interdisziplinäre Betrachtung globaler Stoffkreisläufe und der weltweiten Verfügbarkeit wichtiger Rohstoffe.

## Aktuelle Publikationen

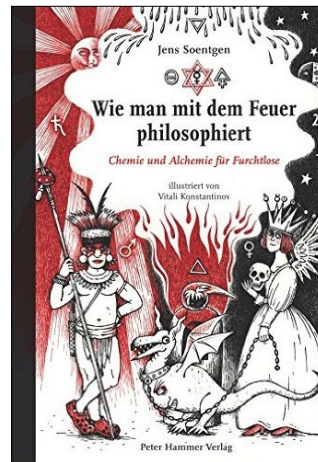


Klaus Hilbert

### Ossos do Ofício

*Um Manual de Arqueologia*

Klaus Hilbert, Jg. 1953, wurde in Belém am Amazonas geboren und wuchs in Brasilien und Deutschland auf. Er studierte Archäologie in Köln und Marburg und arbeitete anschließend am Museu Goeldi in Belém. Heute lehrt er am Institut für Geschichte der Pontifícia Universidade Católica in Porto Alegre, Brasilien. Hilbert ist Spezialist für die präkolumbische Geschichte Südamerikas, zu seinen Forschungsschwerpunkten zählen die Sambaquis (Muschelhaufen) an der brasilianischen Küste, die frühe Besiedlungsgeschichte des Kontinents sowie die Archäologie Amazoniens. Im Wintersemester 2010/2011 verbrachte er ein Forschungssemester am Wissenschaftszentrum Umwelt der Universität Augsburg. In seinem neuen Buch *ossos do ofício* (Knochenarbeit) erzählt er über die Orte, die Stoffe und die Dinge, mit denen der Archäologe zu tun hat, die er zu Geschichten verknüpft. Der Band ist eng mit dem Forschungsschwerpunkt Stoffgeschichten des Wissenschaftszentrums Umwelt verknüpft.



Jens Soentgen  
Vitali Konstantinov  
(Illustrationen)

### Wie man mit dem Feuer philosophiert

*Chemie und Alchemie für Furchtlose*

Wenn wir an Chemie denken, sehen wir Wissenschaftler in weißen Kitteln, die im Labor mit Erlenmeyerkolben und reinen Chemikalien über Bunsenbrennern hantieren. Oder wir denken an komplizierte Formeln, die wir schon in der Schule nicht verstanden haben. Wer weiß schon, dass die heutige Weißkittel-Chemie eine wunderbare wild-abenteuerliche Geschichte hat, die weit zurückreicht in die Wälder Amazoniens, in die Klöster und Schlösser Europas! Hier wurden schon vor Jahrhunderten über dem Feuer Stoffe verwandelt: die Rinde von Lianen in tödliches Gift, Salpeter in Schießpulver, (große Mengen) Kinderpippi in (winzige Mengen) Phosphor.

„Höchste Auszeichnung für ein Sachbuch, das fabuliert!“  
HANS TEN DORNKAAT / NZZ

Ausgezeichnet als „Wissensbuch des Jahres 2016“









Universität Augsburg  
Wissenschaftszentrum  
Umwelt

Wissenschaftszentrum Umwelt  
Environmental Science Center  
Universität Augsburg  
Universitätsstraße 1a  
86159 Augsburg  
Tel.: +49 821 598 3560  
Fax: +49 821 598 3559  
E-mail: [info@wzu.uni-augsburg.de](mailto:info@wzu.uni-augsburg.de)  
[www.wzu.uni-augsburg.de](http://www.wzu.uni-augsburg.de)

Der Jahresbericht 2016 umfasst den Berichtszeitraum von Januar bis Dezember 2016.

## HERAUSGEBER

Prof. Dr. Armin Reller  
Prof. Dr. Jucundus Jacobeit  
Prof. Dr. Marita Krauss  
PD Dr. Jens Soentgen

## REDAKTION

PD Dr. Jens Soentgen  
Dr. Stefanie Seubert  
Stefan Fendt

## LAYOUT

Stefan Fendt  
2bex Design+Konzept, Kaufbeuren